The page features a decorative design with three blue circles of varying sizes, each composed of concentric rings in different shades of blue. Two thin blue lines intersect at the top left, forming a large 'V' shape that frames the central text.

Τ.Ε.Ι Μεσολογγίου  
Παράρτημα Ναυπάκτου

**Τμήμα: Τηλεπικοινωνιακών  
Συστημάτων και Δικτύων**

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Physical Layer LTE**

Σπουδαστής: Διβόλης Ιωάννης  
Α.Μ: 0385  
Επιβλέπων καθηγητής: Πλέσσας Φώτης

**Ναύπακτος : 2013**

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα κατ' αρχήν να ευχαριστήσω τους γονείς μου, που με στήριξαν κατά την διάρκεια των σπουδών μου, τους καθηγητές του τμήματος για τις γνώσεις που μου προσέφεραν καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου και τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Καθηγητή κ. Πλέσσα Φώτη για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου και την βοήθεια που μου παρείχε καθ' όλη την διάρκεια της πτυχιακής μου εργασίας.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	5
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	6
ΠΙΝΑΚΑΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ .....	7
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	8
ABSTRACT.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....	10
LONG TERM EVOLUTION .....	10
1.1 Εισαγωγή.....	10
1.2 Τεχνολογικά χαρακτηριστικά της 4G ασύρματης επικοινωνίας .....	12
1.3 Βασικές τεχνολογίες LTE .....	13
1.3.1 OFDM .....	14
1.3.2 OFDMA.....	16
1.3.3 SC-FDMA .....	17
1.3.4 MIMO.....	18
1.3.5 Ζώνες συχνοτήτων FDD και TDD .....	19
1.4 Σύγκριση 3G με 4G.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....	21
ΦΥΣΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ LTE .....	21
2.1 Γενική δομή πλαισίου.....	21
2.2 Downlink.....	22
2.2.1 Παράμετροι διαμόρφωσης .....	22
2.2.2 Φυσικά κανάλια.....	23
2.2.3 Φυσικά σήματα .....	24
2.2.4 Κανάλια μεταφοράς.....	25
2.2.5 Κωδικοποίηση καναλιού για Downlink.....	26
2.3 Uplink.....	27
2.3.1 Παράμετροι διαμόρφωσης.....	27

2.3.2 Φυσικά κανάλια .....	28
2.3.3 Φυσικά σήματα .....	28
2.3.4 Κανάλια μεταφοράς .....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 .....	30
ΕΞΥΠΙΝΕΣ ΚΕΡΑΙΕΣ.....	30
3.1 Εξέλιξη των κεραιών .....	30
3.2 Συστήματα έξυπνων κεραιών.....	32
3.3 Είδη έξυπνων κεραιών.....	33
3.3.1 Κεραίες μεταγωγής λοβών (switched beam antennas).....	33
3.3.2 Κεραίες με στροφή φάσης (phased array).....	35
3.3.3 Κεραίες με προσαρμοζόμενο διάγραμμα ακτινοβολία (adaptive array) .	36
3.4 Ραδιοσχεδιασμός .....	37
3.5 Τα πλεονεκτήματα των έξυπνων κεραιών.....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 .....	44
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ MIMO .....	44
4.1 Πρόσβαση στην εφαρμογή .....	44
4.2 MIMO 2Ant1 Transmitter .....	47
4.2.1 Κατανόηση καμπυλών CCDF .....	58
4.3 MIMO 4Ant1 Transmitter .....	60
4.4 MIMO Downlink Receiver .....	63
4.4.1 Λευκός γκαουσιανός θόρυβος (AWGN).....	63
4.4.2 Fading .....	75
4.4.3 Ray .....	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 .....	77
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ.....	77
5.1 Εισαγωγή .....	77
5.2 MIMO 2Ant1 Transmitter .....	77
5.3 MIMO 4Ant1 Transmitter .....	80
5.4 MIMO Downlink Receiver .....	85
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	88
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	89

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Εξέλιξη του LTE από τις 3GPP και μη 3GPP τεχνολογίες.....	10
Εικόνα 2: Χρονοδιάγραμμα εξέλιξης και εμπορικής διάθεσης του LTE .....	12
Εικόνα 3: Μετάδοση σημάτων μέσω ανακλάσεων (non-line-of-sight).....	14
Εικόνα 4: (a) Συμβατική τεχνική πολλαπλών φερουσών, (b) OFDM.....	15
Εικόνα 5: Το πλέγμα χρόνου-συχνότητας στο LTE .....	17
Εικόνα 6: FDD και TDD υλοποίηση .....	19
Εικόνα 7: Γενική δομή πλαισίου.....	21
Εικόνα 8: Χαρτογράφηση φυσικών καναλιών προς κανάλια μεταφορών .....	26
Εικόνα 9: Χαρτογράφηση φυσικών καναλιών προς κανάλια μεταφορών .....	29
Εικόνα 10: Σύγκριση MIMO και SISO κεραιών .....	31
Εικόνα 11: Σύστημα έξυπνων κεραιών για χρήση σε μια αστική περιοχή.....	32
Εικόνα 12: Διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας switched beams.....	33
Εικόνα 13: Τρεις σταθεροί λοβοί ακτινοβολίας για κάλυψη τομέα εύρους $120^{\circ}$ .....	34
Εικόνα 14: Λειτουργία κεραίας switched beams με παρεμβάλλον σήμα.....	35
Εικόνα 15: Κεραία phased array .....	36
Εικόνα 16: Κεραία adaptive array .....	36
Εικόνα 17: Λειτουργία κεραίας adaptive array με παρεμβάλλον χρήστη.....	37
Εικόνα 18: Στρατηγική για το χώρο τοποθέτησης των έξυπνων κεραιών .....	38
Εικόνα 19: Μείωση παρεμβολής με χρήση συστημάτων έξυπνων κεραιών.....	40
Εικόνα 20: Επέκταση ραδιοκάλυψης.....	40
Εικόνα 21: Πρόσβαση στην εφαρμογή.....	44
Εικόνα 22: Οθόνη εργασίας.....	45
Εικόνα 23: Δημιουργία νέου Project .....	45
Εικόνα 24: Σωστό μονοπάτι για το νέο project. ....	46
Εικόνα 25: Σχεδιαστικό παράθυρο .....	46
Εικόνα 26: Τοποθέτηση στοιχείων στο σχεδιαστικό παράθυρο.....	47
Εικόνα 27: Αλλαγή ιδιοτήτων στοιχείου .....	48
Εικόνα 28: Τελική μορφή σεναρίου .....	56
Εικόνα 29: Επιλογή προσομοίωσης.....	56
Εικόνα 30: Παράθυρο Hpeesofsim.....	57
Εικόνα 31: New Data Display Window.....	57

Εικόνα 32: Data Display Window options .....	58
Εικόνα 33: Διάγραμμα ισχύος συναρτήσει του χρόνου.....	59
Εικόνα 34: Καμπύλη CCDF .....	60
Εικόνα 35: Σύστημα MIMO 4x4 .....	61
Εικόνα 36: Τελική μορφή σεναρίου .....	62
Εικόνα 37: Τελική μορφή σεναρίου .....	74
Εικόνα 38: Τελική μορφή σεναρίου .....	75
Εικόνα 39: Τελική μορφή σεναρίου .....	76

## **ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ**

Πίνακας 1: Παράμετροι διαμόρφωσης OFDM.....	22
Πίνακας 2: Παράμετροι LTE MIMO Mapper .....	48
Πίνακας 3: Παράμετροι LTE DL MIMO 2Ant Src RF .....	49
Πίνακας 4: Παράμετροι Numeric Data Sink .....	53
Πίνακας 5: Παράμετροι Timed Data Collector .....	53
Πίνακας 6: Παράμετροι Spectrum analyzer .....	54
Πίνακας 7: Παράμετροι DataPattern .....	64
Πίνακας 8: Παράμετροι Mapped .....	64
Πίνακας 9: Παράμετροι LTE channel coder.....	64
Πίνακας 10: Παράμετροι Downlink signal source with RF modulator.....	65
Πίνακας 11: Παράμετροι AWGN.....	69
Πίνακας 12: Παράμετροι Downlink receiver with RF de-modulator.....	69
Πίνακας 13: Παράμετροι LTE channel decoder.....	72
Πίνακας 14: Παράμετροι Delay.....	73
Πίνακας 15: Παράμετροι BER_Measurement.....	73

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1: Σήμα CCDF Ant1 .....	78
Γράφημα 2: Σήμα CCDF Ant2 .....	78
Γράφημα 3: Φάσμα εκπομπής Ant1 και Ant2 .....	79
Γράφημα 4: Κυματομορφές Ant1 και Ant2.....	79
Γράφημα 5: Σήμα CCDF Ant1 .....	80
Γράφημα 6: Σήμα CCDF Ant2 .....	81
Γράφημα 7: Σήμα CCDF Ant3 .....	81
Γράφημα 8: Σήμα CCDF Ant4 .....	82
Γράφημα 9: Φάσμα εκπομπής Ant1 .....	83
Γράφημα 10: Φάσμα εκπομπής Ant2 .....	83
Γράφημα 11: Φάσμα εκπομπής Ant3 .....	83
Γράφημα 12: Φάσμα εκπομπής Ant4 .....	83
Γράφημα 13: Κυματομορφή Ant1 .....	84
Γράφημα 14: Κυματομορφή Ant2 .....	84
Γράφημα 15: Κυματομορφή Ant3 .....	84
Γράφημα 16: Κυματομορφή Ant4 .....	84
Γράφημα 17: BER σε κανάλι με AWGN .....	85
Γράφημα 18: BLER σε κανάλι με AWGN .....	86
Γράφημα 19: FER σε κανάλι με fading .....	86
Γράφημα 20: FER σε κανάλι με fading .....	87
Γράφημα 21: Raw BER σε κανάλι με AWGN .....	87

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το LTE (Long Term Evolution) είναι το επόμενο βήμα στις κυψελοειδείς 3G υπηρεσίες. Ανήκει στα πρότυπα της Third Generation Partnership Project (3GPP) που προβλέπουν για uplink ταχύτητα μέχρι 50 Mbps και ταχύτητες downlink πάνω από 100 Mbps. Το LTE υπόσχεται να φέρει πολλά τεχνικά οφέλη στα κυψελοειδή δίκτυα. Το εύρος ζώνης θα είναι κλιμακωτό από 1.25 MHz σε 20 MHz. Έτσι θα ανταποκριθεί στις ανάγκες των διαφορετικών διαχειριστών δικτύου που έχουν διαφορετικές κατανομές εύρους ζώνης και επίσης θα επιτρέπει στους διαχειριστές να παρέχουν διαφορετικές υπηρεσίες βασισμένες στο φάσμα. Επίσης, αναμένεται να βελτιώσει τη φασματική αποδοτικότητα των 3G δικτύων, επιτρέποντας στους φορείς να παρέχουν περισσότερα δεδομένα και υπηρεσίες φωνής πέρα από ένα δεδομένο εύρος ζώνης.



## **ABSTRACT**

The LTE (Long Term Evolution) is the next step in cellular 3G services. Belongs to the standards of Third Generation Partnership Project (3GPP) providing for uplink speeds up to 50 Mbps and downlink speeds of over 100 Mbps. The LTE promises to bring many technical benefits to cellular networks. The bandwidth is scaled from 1.25 MHz to 20 MHz. This will meet the needs of different network operators have different allocations of bandwidth and also allows administrators to provide different services based on the spectrum. Also expected to improve the spectral efficiency of 3G networks, allowing operators to offer more data and voice services over a given bandwidth.

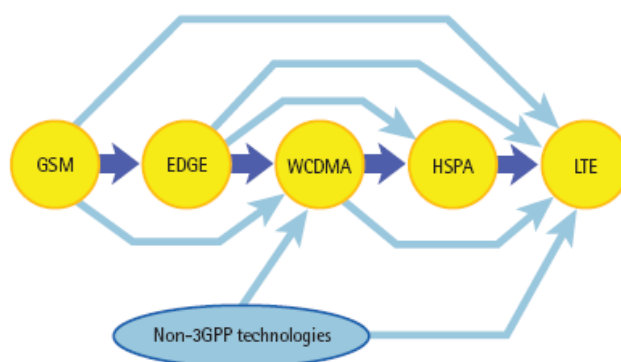
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## LONG TERM EVOLUTION

### 1.1 Εισαγωγή

Το LTE είναι η ονομασία που αποδόθηκε στην τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία που αναπτύχθηκε υπό την αιγίδα του 3GPP με σκοπό να βελτιώσει το προηγούμενο πρότυπο κινητών τηλεπικοινωνιών UMTS και να διευκολύνει τη μετάβαση σε περισσότερο εξελιγμένες εφαρμογές. Η νέα αυτή τεχνολογία υποστηρίζει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, μικρούς χρόνους αναμονής, μεταγωγή πακέτου καθώς και δυνατότητα πλήρους κινητικότητας.

Σήμερα, οι προδιαγραφές για το LTE περιλαμβάνονται στο 3GPP Release 8, το οποίο αποτελεί και την πλέον πρόσφατη αναθεώρηση, η οποία και καθορίζει την τεχνολογική εξέλιξη των 3GPP κινητών δικτυακών συστημάτων. Το LTE είναι μια από τις αναδύομενες τεχνολογίες της λεγόμενης 4<sup>ης</sup> γενιάς. Στην εικόνα 1 φαίνεται η εξέλιξη της πορείας της τεχνολογίας έως ότου να φτάσουμε στο πλέον πρόσφατο LTE. Η πρόσφατη αύξηση που σημειώθηκε στη χρήση κινητών συσκευών και η ανάδειξη νέων εφαρμογών όπως το MMOG (Multimedia Online Gaming), η κινητή τηλεόραση, το Web 2.0 και οι (streaming) εφαρμογές παρακίνησαν την 3GPP να προχωρήσει στην υλοποίηση του LTE.

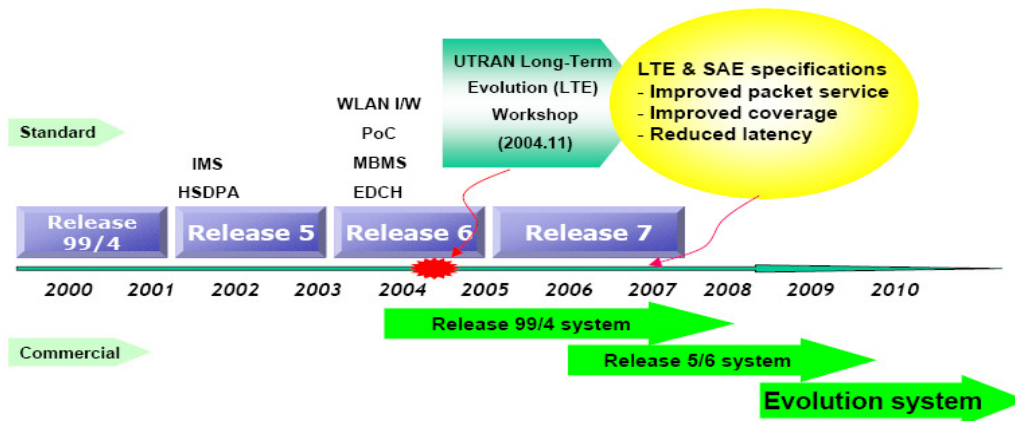


Εικόνα 1: Εξέλιξη του LTE από τις 3GPP και μη 3GPP τεχνολογίες.

Το LTE είναι σε θέση να εξασφαλίσει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα για λογαριασμό της 3GPP έναντι των άλλων κυψελωτών τεχνολογιών. Το LTE, του οποίου το δίκτυο πρόσβασης καλείται Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN), αναμένεται να οδηγήσει σε σημαντική βελτίωση σε πολλά κρίσιμα μεγέθη του δικτύου, όπως είναι η ρυθμοαπόδοση, η χωρητικότητα κυψέλης και τομέα και η λανθάνουσα καθυστέρηση (latency time) του συστήματος, βελτιώνοντας θεαματικά την τελική εμπειρία του χρήστη και προσφέροντάς του συγχρόνως δυνατότητα πλήρους κινητικότητας. Με την ανάδειξη του Internet Protocol, ως το πρωτόκολλο επιλογής για τη μεταφορά όλων των τύπων κίνησης, το LTE σχεδιάστηκε για να υποστηρίξει την IP κίνηση και παράλληλα το από άκρο σε άκρο QoS. Η φωνή θα μεταδίδεται κυρίως ως Voice over IP (VoIP), καθιστώντας εφικτή την καλύτερη αλληλεπίδραση με άλλες υπηρεσίες πολυμέσων.

Το LTE έχει θέσει ψηλά τον πήχη όσον αφορά τις απαιτήσεις απόδοσης. Το αδιαφιλονίκητο πλεονέκτημα του LTE οφείλεται στις τεχνολογίες φυσικού επιπέδου, όπως είναι η OFDM, OFDMA, SC-FDMA καθώς και τα συστήματα MIMO. Το LTE αποβλέπει στην ελαχιστοποίηση της πολυπλοκότητας των συστημάτων που υλοποιούνται, στην επίτευξη δυναμικής κατανομής φάσματος στο υπάρχον ή σε νέο φάσμα συχνοτήτων και τέλος στη διαλειτουργικότητα με τις άλλες 3GPP τεχνολογίες πρόσβασης. Ένας ακόμη στόχος της φιλόδοξης αυτής τεχνολογίας είναι να εξασφαλίσει την αρμονική συνύπαρξη των LTE συστημάτων με τα παραδοσιακά δίκτυα τα οποία χρησιμοποιούν τη μεταγωγή κυκλώματος. Με τον τρόπο αυτό, θα είναι δυνατή η σταδιακή αφομοίωση του LTE από τις ήδη υπάρχουσες πλατφόρμες, γεγονός το οποίο θα επιτρέπει στο χρήστη να εκμεταλλεύεται τα οφέλη του προηγμένου LTE χωρίς να απαιτείται η εγκατάσταση ενός ολοκληρωτικά νέου συστήματος.

Πολλές εταιρείες έχουν ήδη υιοθετήσει το Long Term Evolution και εργάζονται εντατικά για την ανάπτυξη και υλοποίησή του. Σύμφωνα με μια μελέτη της ABI Research, το LTE θα κυριαρχήσει στην παγκόσμια αγορά των κινητών τηλεπικοινωνιών μετά το 2013, όπως ήδη διαφαίνεται σε κάποιες χώρες. Η εικόνα 2 δείχνει τα βήματα τυποποίησης και εξέλιξης του LTE .



Εικόνα 2: Χρονοδιάγραμμα εξέλιξης και εμπορικής διάθεσης του LTE.

## 1.2 Τεχνολογικά χαρακτηριστικά της 4G ασύρματης επικοινωνίας

Η δημιουργία ενός ετερογενούς δικτύου με διαφορετικά δίκτυα πρόσβασης και τερματικά τελικών χρηστών όπου θα δίνει την δυνατότητα χρήσης σε πρωτότυπες και επαναστατικές υπηρεσίες, θα υλοποιηθεί μέσω της τέταρτης γενιάς ασύρματων δικτύων. Στο ίδιο περιβάλλον θα είναι ενσωματωμένα δίκτυα 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> γενιάς όπου θα επιτρέπεται η απρόσκοπτη και συνεχής μετάβαση από το ένα σύστημα στο άλλο. Θα περιγράψουμε παρακάτω μερικά από τα χαρακτηριστικά της 4<sup>ης</sup> τεχνολογικής γενιάς.

- Ο υψηλός ρυθμός μετάδοσης με εύρος από 20 έως 200 Mbps. Ασύρματα LAN και ασύρματα συστήματα πρόσβασης ευρείας ζώνης λειτουργούν ήδη στη ζώνη των 5 GHz και έχουν αναπτυχθεί στην Ιαπωνία (MMAC), στην Ευρώπη (Hyperlan 2) και στην Αμερική (IEEE 802.11) έχουν ταχύτητα μετάδοσης 20-30 Mbps.
- Η 10 φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα και το μικρότερο κόστος ανά bit σε σύγκριση με την 3G τεχνολογία.
- Η υποστήριξη πρωτοκόλλων Internet νέας γενιάς (IPv6) και πολύ-μετάδοσης (multicasting) είναι σημαντική ιδιαίτερα για εφαρμογές ηλεκτρονικού εμπορίου.

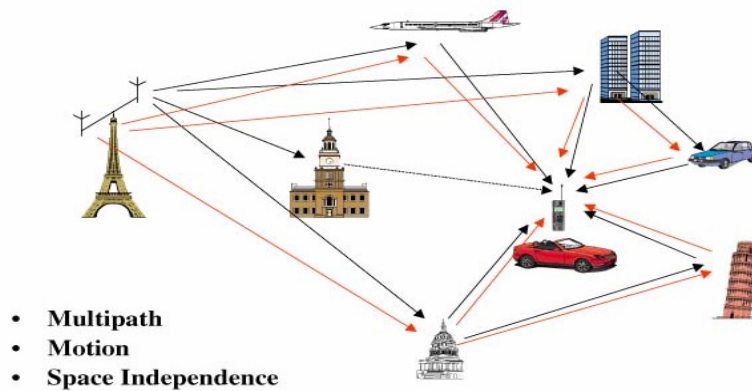
- Η δημιουργία αλγορίθμων για εξοικονόμηση ενέργειας από την μπαταρία της συσκευής και η ύπαρξη ειδικού λογισμικού μέσα στις φορητές συσκευές με σκοπό την προσαρμογή της φυσικής και λογικής πρόσβασης (physical and MAC interface) αναλόγως του δικτύου που χρησιμοποιείται κάθε φορά.
- Η χρήση τεχνολογίας μέσω πρωτοκόλλων IP που θα επιτρέπει την ομαλή διασύνδεση με σταθερά και ασύρματα δίκτυα, καθώς και με συστήματα 3G.
- Πληρέστερη κάλυψη χώρου με μεταβλητή ταχύτητα μετάδοσης.
- Υψηλότερες χρησιμοποιούμενες συχνότητες (μέχρι 5 GHz), με εύρος ζώνης ραδιοσυχνοτήτων (RF) ανά κανάλι, 20~100 MHz.
- Χρησιμοποίηση πολλαπλών κεραιών, τόσο στους σταθμούς βάσης όσο και στις κινητές συσκευές, με χρήση του πρωτοκόλλου ορθογώνιας πολυπλεξίας συχνότητας, OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), αλλά και άλλων μεθόδων.

### 1.3 Βασικές Τεχνολογίες LTE

Πριν περάσουμε σε μια λεπτομερή περιγραφή του φυσικού επιπέδου LTE, αξίζει να δούμε τις βασικές τεχνολογίες που υποστηρίζει. Οι μέθοδοι που υιοθετούνται στο LTE είναι σχετικά νέες στις κυψελοειδείς εφαρμογές. Αυτές περιλαμβάνουν την OFDM, την OFDMA, την SC-FDMA και τις έξυπνες κεραιές MIMO. Η OFDM χρησιμοποιείται για downlink μεταδόσεις και η Sc-FDMA για uplink μεταδόσεις. Η OFDM είναι μια γνωστή τεχνική διαμόρφωσης, αλλά σχετικά νέα της κυψελοειδείς εφαρμογές. Γι αυτό λοιπόν κάνουμε μια συνοπτική αναφορά της βασικές ιδιότητες και τα πλεονεκτήματα της μεθόδου καθώς βέβαια και των άλλων μεθόδων.

Όταν οι πληροφορίες μεταδίδονται πάνω από ένα ασύρματο κανάλι, το σήμα μπορεί να αλλάξει πορεία λόγω πολλαπλών διαδρομών. Χαρακτηριστικά (αλλά όχι πάντα) υπάρχει μια διαδρομή χωρίς εμπόδια (line-of-sight) μεταξύ πομπού και δέκτη. Επιπλέον, υπάρχουν πολλά άλλα μονοπάτια που δημιουργούνται από την αντανάκλαση σημάτων (non-line-of-sight) της τα κτήρια, τα οχήματα και άλλα εμπόδια της φαίνεται στην εικόνα 3. Τα σήματα ταξιδεύουν κατά μήκος των μονοπατιών και καταλήγουν όλα στον δέκτη, αλλά μετατοπίζονται στο χρόνο από μια

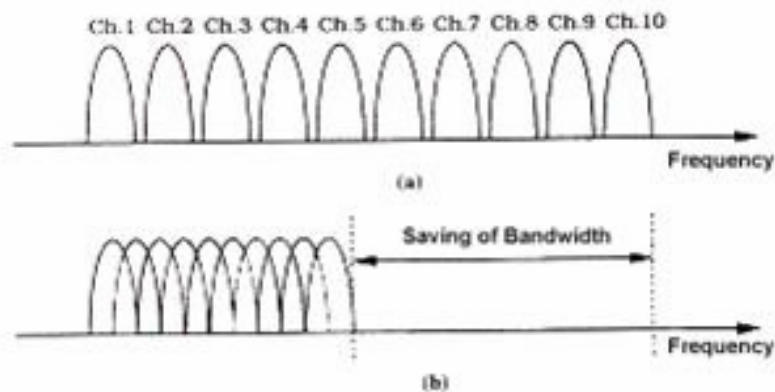
ποσότητα που αντιστοιχεί της διαφορές της απόστασης που διανύεται κατά μήκος κάθε μονοπατιού.



**Εικόνα 3: Μετάδοση σημάτων μέσω ανακλάσεων (non-line-of-sight).**

### 1.3.1 OFDM

Η OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) διαμόρφωση αναφέρεται σε μια μέθοδο ψηφιακής διαμόρφωσης σύμφωνα με την οποία το σήμα διαχωρίζεται σε μικρής συχνοτικής μπάντας κανάλια, σε διαφορετικές συχνότητες. Άρα στην ουσία βασίζεται στην ιδέα του frequency-Division Multiplexing (FDM). Με την OFDM διαμόρφωση, οι συχνότητες και η διαμόρφωση αυτών, γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε τα κανάλια να είναι ορθογώνια μεταξύ τους. Με τον τρόπο αυτό αντιμετωπίζεται το πρόβλημα της παρεμβολής μεταξύ των χρηστών και των καναλιών που χρησιμοποιούν. Η βασική αρχή της OFDM τεχνικής είναι τα υποκανάλια να επικαλύπτονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να είναι μεν αποδοτική η χρήση του φάσματος και αφετέρου να είναι δυνατός ο διαχωρισμός τους κάτι που φαίνεται στην εικόνα 4.



**Εικόνα 4: (α) Συμβατική τεχνική πολλαπλών φερουσών, (β) OFDM.**

Από το παραπάνω σχήμα φαίνεται καθαρά η διαφορά μεταξύ των συμβατικών τεχνικών με μη επικαλυπτόμενα υποκανάλια και του OFDM. Η διαφοροποίηση του OFDM έγκειται στο ότι τα subcarriers κάθε σήματος τοποθετούνται έχοντας τη μικρότερη θεωρητικά δυνατή απόσταση μεταξύ τους, γεγονός που συντελεί στην αποδοτικότερη αξιοποίηση του φάσματος ενώ ταυτόχρονα διατηρείται η ορθογωνιότητα. Κατά αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται εξοικονόμηση εύρους φάσματος που αγγίζει κατά περίπτωση ακόμα και το 50%. Επομένως η ιδέα που εισήγαγε το OFDM ήταν πρωτοποριακή μιας και οδηγούσε στην εξοικονόμηση φάσματος.

Τα κυριότερα από τα πλεονεκτήματα χρήσης του OFDM είναι συνοπτικά τα ακόλουθα:

- Το OFDM αντιμετωπίζει αποτελεσματικά το φαινόμενο της πολυόδευσης (multipath).
- Σε συστήματα όπου οι δίαυλοι μετάδοσης μεταβάλλονται πολύ αργά σε σχέση με τη συχνότητα μετάδοσης των δεδομένων είναι εφικτή η αύξηση της χωρητικότητας με την ανάλογη προσαρμογή της συχνότητας δεδομένων ανά υποφέρουσα σε σχέση πάντα και με το λόγο σήματος προς θόρυβο για συγκεκριμένο κανάλι (SNR).
- Το OFDM είναι εξαιρετικά ανθεκτικό στην παρεμβολή στενού φάσματος διότι τέτοιου είδους παρεμβολή επηρεάζει μόνο ένα μικρό ποσοστό των υποφερουσών.

### 1.3.2 OFDMA

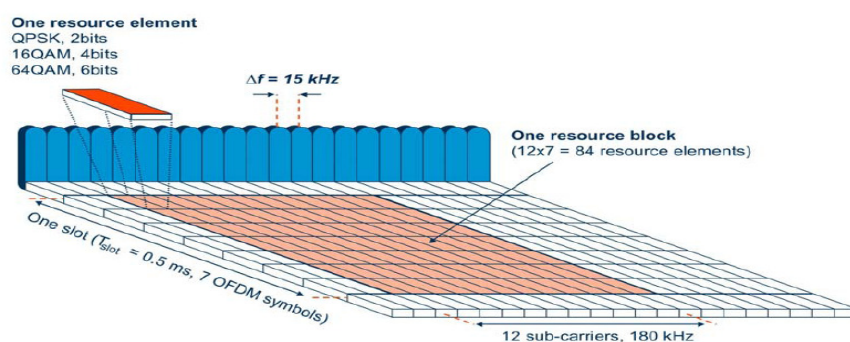
Η τεχνική πολλαπλής πρόσβασης Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDM) είναι μια εκδοχή της δημοφιλούς ψηφιακής τεχνικής διαμόρφωσης OFDM, η οποία απευθύνεται σε πολλούς χρήστες ταυτόχρονα και η οποία χρησιμοποιείται για το φυσικό στρώμα του LTE με ένα κυκλικό πρόθεμα (Cyclic Prefix-CP) για την downlink σύνδεση και η Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) με επίσης ένα CP για την uplink σύνδεση, την οποία θα αναλύσουμε παρακάτω. Η τεχνική OFDMA είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική σε περιπτώσεις διαύλων επιλεκτικών ως προς τη συχνότητα και τους υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Ένα κανάλι που χαρακτηρίζεται από διαλείψεις επιλεκτικές ως προς τη συχνότητα μετασχηματίζεται σε ένα κανάλι με επίπεδες διαλείψεις χάρη στη χρήση του CP. Επιπρόσθετα, αντιμετωπίζονται αποτελεσματικά οι πιο κοινοί τύποι RF παραμορφώσεων χωρίς να απαιτούνται σύνθετες τεχνικές εξίσωσης.

Το LTE χρησιμοποιεί την τεχνική πρόσβασης OFDMA για την downlink σύνδεση, δηλαδή για τη σύνδεση που υλοποιείται από το σταθμό βάσης προς το τερματικό. Η OFDMA ικανοποιεί την απαίτηση του LTE για δυναμική κατανομή φάσματος και κάνει χρήση οικονομικά αποδοτικών λύσεων για την επίτευξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης.

Η OFDMA χρησιμοποιεί έναν μεγάλο αριθμό υποφερουσών (subcarriers), ο αριθμός των οποίων μπορεί να φτάσει τις 1200. Ο αριθμός των υποφερουσών εξαρτάται από το διατιθέμενο εύρος ζώνης (από 1.4MHz μέχρι 20MHz), αλλά δεν καταλαμβάνεται το 100% του εύρους ζώνης από αυτές δεδομένου ότι τα CP καταλαμβάνουν ένα μέρος αυτού. Η συγκεκριμένη υλοποίηση μπορεί να απεικονιστεί μέσω ενός πλέγματος χρόνου-συχνότητας, όπως φαίνεται και στην εικόνα 5 που ακολουθεί. Στο πεδίο συχνότητας, το διάστημα μεταξύ των υποφερουσών,  $\Delta f$ , είναι 15kHz. Επιπλέον, ο χρόνος διάρκειας ενός OFDMA συμβόλου είναι  $1/\Delta f + CP$ . Τα OFDMA σύμβολα οργανώνονται σε φασματικές περιοχές (resource blocks). Οι φασματικές αυτές περιοχές έχουν ένα συνολικό μέγεθος 180 kHz στο πεδίο της συχνότητας και 0.5ms στο πεδίο του χρόνου. Κάθε χρονικό διάστημα μετάδοσης (Transmission Time interval-TTI) του 1ms αποτελείται από δύο σχισμές (Tslot). Σε κάθε χρήστη κατανέμεται ένα σύνολο φασματικών περιοχών από το υποτιθέμενο πλέγμα χρόνου-συχνότητας. Όσες περισσότερες φασματικές περιοχές έχει ένας



χρήστης στη διάθεσή του και όσο υψηλότερη είναι η διαμόρφωση που χρησιμοποιείται, τόσο υψηλότερος είναι ο ρυθμός μετάδοσης bit. Πόσες φασματικές περιοχές και ποιες συγκεκριμένα διατίθενται σε κάθε χρήστη σε μια δεδομένη χρονική στιγμή προκύπτει μέσω προηγμένων προγραμματιστικών μηχανισμών, οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη τον χρόνο και τη συχνότητα. Οι μηχανισμοί αυτοί είναι παρόμοιοι με εκείνους που χρησιμοποιούνται στην τεχνολογία HSPA, και καθιστούν εφικτή τη βέλτιστη απόδοση για διαφορετικές υπηρεσίες και σε διαφορετικά περιβάλλοντα μετάδοσης .



**Εικόνα 5: Το πλέγμα χρόνου-συχνότητας στο LTE.**

### 1.3.3 SC-FDMA

Στην uplink σύνδεση, χρησιμοποιείται η τεχνική Single-Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) όπως αναφέραμε στην παράγραφο 1.3, και η οποία αποτελεί μια παραλλαγή της OFDMA. Η SC-FDMA έχει πολλές ομοιότητες με την OFDMA, από τις οποίες ξεχωρίζει η διατήρηση της ορθογωνικότητας συχνότητας μεταξύ των χρηστών της ίδιας κυψέλης με την οποία περιορίζεται το επίπεδο παρεμβολών στο σταθμό βάσης.

Η διαφοροποίηση έγκειται στο ότι η SC-FDMA έχει χαμηλότερες απαιτήσεις ισχύος, γεγονός που παρατείνει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Συν τοις άλλοις, η αυξημένη κατανάλωση ισχύος προϋποθέτει την ύπαρξη δαπανηρών ενισχυτών με υψηλές απαιτήσεις για γραμμικότητα, η οποία αυξάνει το κόστος του τερματικού. Η SC-FDMA επιλύει αυτό το πρόβλημα ομαδοποιώντας κατά τέτοιο τρόπο τις φασματικές περιοχές (resource blocks) ώστε να περιορίζεται η ανάγκη για

γραμμικότητα, και συνεπώς και η κατανάλωση ισχύος στον αντίστοιχο ενισχυτή. Η χαμηλή κατανάλωση ισχύος βελτιώνει επίσης την κάλυψη και την απόδοση στα σύνορα των κυψελών.

### 1.3.4 MIMO

Η τεχνική Multiple Input - Multiple Output (MIMO) αυξάνει τη μέγιστη ρυθμοαπόδοση με την εκπομπή και τη λήψη πολλαπλών ρευμάτων πληροφορίας κάνοντας χρήση του ίδιου φάσματος. Η τεχνική αυτή εκμεταλλεύεται τα αποτελέσματα της διάδοσης πολλαπλών διαδρομών, φαινόμενο το οποίο παρατηρείται ευρέως στα ασύρματα περιβάλλοντα.

Η MIMO χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραιές εκπομπής και λήψης προκειμένου να βελτιώσει σημαντικά τις εναέριες διεπαφές. Συγκεκριμένα αυτό που κάνει είναι να διαβιβάζει το ίδιο ρεύμα πληροφοριών μέσω πολλών κεραιών ταυτόχρονα, το οποίο συνιστά σημαντική βελτίωση σε σχέση με τις παραδοσιακές τεχνικές στις οποίες χρησιμοποιείται μια και μόνο κεραία μετάδοσης για την κάλυψη της κυψέλης. Επίσης εκμεταλλεύεται τη χωρική πολυπλεξία κατά την οποία διαφορετικά ρεύματα πληροφοριών διαβιβάζονται ταυτόχρονα μέσω διαφορετικών κεραιών, αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό το ρυθμό μετάδοσης για τον τελικό χρήστη και τη χωρητικότητα της κυψέλης. Επιπλέον όταν ο δίαυλος μετάδοσης είναι γνωστός στον πομπό, η MIMO μπορεί επίσης να εφαρμόσει την τεχνική της διαμόρφωσης λοβού ακτινοβολίας στοιχειοκεραίας (beam-forming) προκειμένου να αυξήσει ακόμα περισσότερο το ρυθμό μετάδοσης και τη φασματική απόδοση του συστήματος.

Δεν υπάρχει μια λύση κεραιών που να καλύπτει κάθε ενδεχόμενο. Συνεπώς κάθε οικογένεια κεραιών είναι διαθέσιμη για να ικανοποιεί συγκεκριμένες προδιαγραφές. Για παράδειγμα, οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης μπορούν να επιτευχθούν με τις πολλαπλές κεραιές όπως είναι τα σχήματα 2x2 και 4x4, ενώ η εκτεταμένη κάλυψη μπορεί να επιτευχθεί με διαμόρφωση λοβού ακτινοβολίας στοιχειοκεραίας.

### 1.3.5 Ζώνες συχνοτήτων FDD και TDD

Το LTE μπορεί να υλοποιηθεί και σε ζώνες κατά ζεύγη (FDD) και σε άζευκτες (TDD). Οι πρώτες υλοποιήσεις που προωθούνται υποστηρίζουν και τις δύο τεχνικές. Γενικά, το FDD είναι αποδοτικότερο και βρίσκει εφαρμογή σε περισσότερες συσκευές και υποδομές, ενώ το TDD θεωρείται ως ένα καλό συμπλήρωμα. Επειδή το hardware του LTE είναι το ίδιο για το FDD και το TDD (εκτός από τα φίλτρα), οι φορείς εκμετάλλευσης του TDD θα είναι σε θέση για πρώτη φορά να απολαύσουν τις οικονομίες κλίμακας που συνοδεύουν τα ευρέως αποδεχτά FDD προϊόντα. Τα περισσότερα κυψελωτά συστήματα χρησιμοποιούν στις μέρες μας την τεχνική του FDD, και περισσότερο από το 90 τοις εκατό των συχνοτήτων παγκοσμίως ταξινομούνται κατά ζεύγη στις αντίστοιχες ζώνες. Στο FDD, η κίνηση στην uplink και downlink σύνδεση διαβιβάζονται ταυτόχρονα σε χωριστές ζώνες συχνότητας. Στο TDD, η μετάδοση στην uplink και την downlink σύνδεση πραγματοποιούνται ασυνεχώς μέσα στην ίδια ζώνη συχνότητας. Για παράδειγμα, εάν η χρονική αναλογία μετάδοσης μεταξύ της downlink και της uplink σύνδεσης είναι 1/1, τότε η uplink σύνδεση χρησιμοποιεί το μισό χρόνο και τον εναπομείναντα η downlink. Η μέση ισχύς που διατίθεται σε κάθε σύνδεση είναι η μισή της μέγιστης ισχύος. Δεδομένου ότι η μέγιστη ισχύς περιορίζεται από διάφορες ρυθμιστικές απαιτήσεις, το αποτέλεσμα είναι ότι για την ίδια μέγιστη ισχύ, το TDD θα προσφέρει λιγότερη κάλυψη από το FDD. Η εικόνα 6 που ακολουθεί δείχνει την υλοποίηση των δύο τεχνικών.



Εικόνα 6: FDD και TDD υλοποίηση

Μέχρι σήμερα, έχουν καθοριστεί από την 3GPP δέκα διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων για το FDD και τέσσερις για το TDD, οι οποίες προορίζονται για το LTE. Επίσης αναμένεται να υποστηρίξει εύρη ζώνης από αρκετά μικρότερα των 5MHz έως και των 20MHz και για τις δύο τεχνικές FDD και TDD. Αυτό σημαίνει ότι

ένας φορέας εκμετάλλευσης δικτύων μπορεί να υλοποιήσει το LTE τόσο σε νέες όσο και σε ήδη υπάρχουσες ζώνες.

## 1.4 Σύγκριση 3G με 4G

Πολλοί είναι εκείνοι που διατείνονται ότι είναι αρκετά πρόωρη η ανάπτυξη και υλοποίηση των συστημάτων 4G , από την στιγμή μάλιστα που δεν έχει ολοκληρωθεί και τελειοποιηθεί η πλήρης εξάπλωση των συστημάτων της προηγούμενης γενιάς 3G. Υπάρχει όμως, μια πλειάδα λόγων και αιτιών που καθιστούν επιτακτική την προώθηση της τεχνολογίας 4<sup>ης</sup> γενιάς, οι οποίοι αναλύονται ακριβώς παρακάτω:

- Η απόδοση των 3G συστημάτων δεν κρίνεται ικανοποιητική για μελλοντικές εφαρμογές υψηλής απόδοσης, όπως εφαρμογές πολυμέσων, full-motion video, ασύρματη τηλεδιάσκεψη. Απαιτείται ένα σύστημα, το οποίο να επεκτείνει την ήδη υπάρχουσα χωρητικότητα κατά μία τάξη μεγέθους.
- Υπάρχουν πολλά πρότυπα που πρέπει ένα 3G σύστημα να ικανοποιήσει προκειμένου να διασυνδεθεί με άλλα δίκτυα. Χρειαζόμαστε παγκόσμια δυνατότητα μετακίνησης και φορητότητα υπηρεσιών.
- Το 3G βασίζεται κυρίως στην υλοποίηση ευρείας ζώνης. Χρειαζόμαστε υβριδικά δίκτυα, τα οποία να είναι σε θέση να υλοποιήσουν τόσο ασύρματα LAN (hot spot) όσο και κυψελωτά ευρείας ζώνης δίκτυα.
- Χρειαζόμαστε μεγαλύτερο εύρος ζώνης.
- Οι ερευνητές έχουν αναπτύξει φασματικά πιο αποδοτικές τεχνικές διαμόρφωσης, οι οποίες δεν μπορούν να συμβαδίσουν με την 3G τεχνολογία.
- Χρειαζόμαστε ψηφιακά δίκτυα πακέτων, βασισμένα στην πλήρη και εξελιγμένη μορφή του IP.

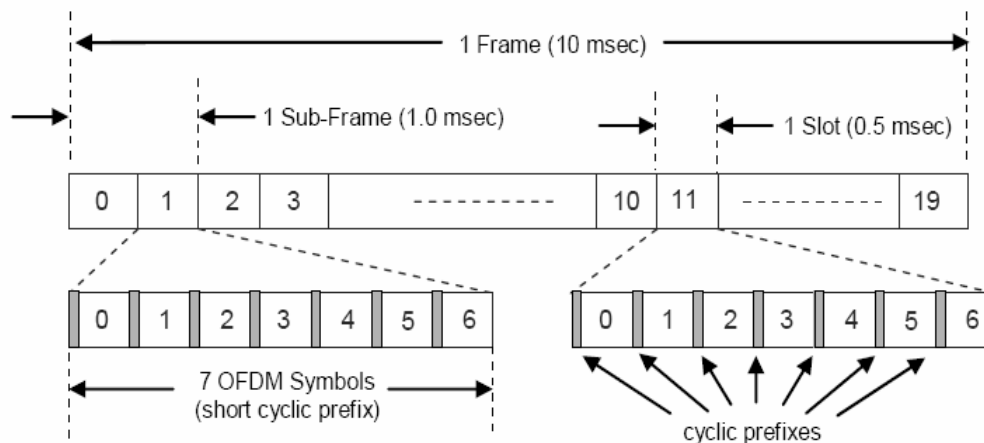
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΦΥΣΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ LTE

#### 2.1 Γενική δομή πλαισίου

Στο φυσικό επίπεδο του LTE οι δυνατότητες του eNodeB και του UE είναι αρκετά διαφορετικές. Έτσι λοιπόν το downlink και το uplink είναι αρκετά διαφορετικά και περιγράφονται ξεχωριστά παρακάτω.

Ένα κοινό στοιχείο στο downlink και το uplink είναι η γενική δομή πλαισίου. Οι προδιαγραφές του LTE καθορίζονται από δυο τρόπους λειτουργίας την FDD και TDD. Εδώ θα ασχοληθούμε αποκλειστικά με την περιγραφή της τεχνικής FDD. Η γενική δομή πλαισίου ισχύει τόσο για το downlink όσο και για το uplink για τη λειτουργία FDD, η οποία περιγράφεται στην παράγραφο 1.3.5 παραπάνω, και εδώ αναφέρονται τα κύρια σημεία. Οι μεταδόσεις είναι τεμαχισμένες σε πλαίσια διάρκειας 10 msec και αποτελούνται από 20 slot περιόδους των 0.5 msec. Τα υποπλαίσια περιέχουν δύο περιόδους slot και έχουν διάρκεια 1 msec. Η γενική δομή πλαισίου φαίνεται στην εικόνα 7.



Εικόνα 7: Γενική δομή πλαισίου

## 2.2 Downlink

Οι προδιαγραφές του φυσικού επιπέδου έχουν ως σκοπό να προσαρμόσουν το εύρος ζώνης από 1.25 MHz σε 20 MHz. Έτσι επιλέχτηκε ως βασικό σχήμα διαμόρφωσης το OFDM λόγω της ανθεκτικότητας που παρέχει στο φαινόμενο των πολλαπλών διαδρομών εξασθένισης (multipath).

Το downlink υποστηρίζει φυσικά κανάλια, τα οποία μεταβιβάζουν τις πληροφορίες από τα υψηλότερα στρώματα στη στοίβα του LTE και τα φυσικά σήματα που είναι για την αποκλειστική χρήση του φυσικού επιπέδου. Τα φυσικά κανάλια χαρτογραφούνται προς τα κανάλια μεταφοράς ως τα σημεία πρόσβασης υπηρεσιών για τα στρώματα L2 και L3. Ανάλογα με την περίπτωση τα φυσικά κανάλια, καθώς και τα φυσικά σήματα χρησιμοποιούν διαφορετικές παραμέτρους διαμόρφωσης και κωδικοποίησης.

### 2.2.1 Παράμετροι διαμόρφωσης

Το σχήμα διαμόρφωσης για την downlink μετάδοση είναι το OFDM. Το βασικό διάστημα υπομεταφορέων είναι 15kHz, με ένα περιορισμένο διάστημα υπομεταφορέων των 7.5 kHz, διαθέσιμο για κάποια σενάρια MB-SFN. Ο παρακάτω πίνακας 1 συνοψίζει τις παραμέτρους διαμόρφωσης OFDM.

Transmission BW		1.25 MHz	2.5 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Sub-frame duration		0.5 ms					
Sub-carrier spacing		15 kHz					
Sampling frequency		192 MHz (1/2 x 3.84 MHz)	3.84 MHz	7.68 MHz (2 x 3.84 MHz)	15.36 MHz (4 x 3.84 MHz)	23.04 MHz (6 x 3.84 MHz)	30.72 MHz (8 x 3.84 MHz)
FFT size		128	256	512	1024	1536	2048
OFDM sym per slot (short/long CP)		7/6					
CP length (usec/samples)	Short	(4.69/9) x 6, (5.21/10) x 1	(4.69/18) x 6, (5.21/20) x 1	(4.69/36) x 6, (5.21/40) x 1	(4.69/72) x 6, (5.21/80) x 1	(4.69/108) x 6, (5.21/120) x 1	(4.69/144) x 6, (5.21/160) x 1
	Long	(16.67/32)	(16.67/64)	(16.67/128)	(16.67/256)	(16.67/384)	(16.67/512)

**Πίνακας 1: Παράμετροι διαμόρφωσης OFDM**

Ανάλογα με την καθυστέρηση διάδοσης του καναλιού χρησιμοποιείται είτε το μικρής διάρκειας είτε το μεγάλης διάρκειας CP. Όταν χρησιμοποιείται το μικρής διάρκειας CP, το πρώτο σύμβολο OFDM σε ένα slot έχει ένα ελαφρώς μεγαλύτερο CP από τα υπόλοιπα έξι σύμβολα. Αυτό γίνεται για να διατηρήσει το συγχρονισμό του slot των 0.5 msec.

### **2.2.2 Φυσικά Κανάλια**

Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι φυσικών καναλιών για την downlink σύνδεση στο LTE. Ένα κοινό χαρακτηριστικό των φυσικών καναλιών είναι ότι όλα μεταβιβάζουν τις πληροφορίες από τα υψηλότερα στρώματα στη στοίβα LTE. Αντίθετα με τα φυσικά σήματα, τα οποία μεταβιβάζουν τις πληροφορίες που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά μέσα στο φυσικό στρώμα. Τα φυσικά κανάλια στο downlink LTE είναι τα παρακάτω.

#### **Physical Downlink Shared Channel (PDSCH)**

Το PDSCH χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων και πολυμέσων, επομένως σχεδιάστηκε για πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Οι επιλογές διαμόρφωσης περιλαμβάνουν QPSK, 16QAM και 64QAM. Επίσης χρησιμοποιείται η χωρική πολυπλεξία η οποία αφορά αποκλειστικά και μόνο αυτό το κανάλι.

#### **Physical Downlink Control Channel (PDCCH)**

Το PDCCH μεταβιβάζει συγκεκριμένες UE πληροφορίες ελέγχου και το μόνο διαθέσιμο σχήμα διαμόρφωσης είναι η QPSK.

#### **Common Control Physical Channel (CCPCH)**

Στο CCPCH το διαθέσιμο σχήμα διαμόρφωσης είναι η QPSK και μεταδίδεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στην κεντρική συχνότητα και μεταδίδεται αποκλειστικά στους 72 ενεργούς υπομεταφορείς που συγκεντρώνονται στον υπομεταφορέα DC.

Τα φυσικά κανάλια χαρτογραφούνται σε συγκεκριμένα κανάλια μεταφοράς τα οποία περιγράφονται στην παράγραφο 2.2.4 παρακάτω. Τα κανάλια μεταφοράς είναι τα σημεία πρόσβασης υπηρεσιών για τα υψηλότερα στρώματα.

Η χαρτογράφηση στρώματος και η προκωδικοποίηση συσχετίζονται με τις εφαρμογές MIMO. Βασικά, ένα στρώμα αντιστοιχεί σε ένα χωρικό κανάλι πολυπλεξίας. Τα συστήματα MIMO καθορίζονται από την διάρκεια ( $N_{\text{transmitters}} \times N_{\text{receivers}}$ ). Οι καθορισμένες διαμορφώσεις για το LTE, είναι  $1 \times 1$ ,  $2 \times 2$ ,  $3 \times 2$  και  $4 \times 2$ . Επειδή υπάρχουν τέσσερις κεραιές μετάδοσης, υπάρχει μόνο ένα μέγιστο δύο δεκτών και ένα μέγιστο δύο μόνο ροών δεδομένων χωρικής πολυπλεξίας. Για τα συστήματα  $1 \times 1$  και  $2 \times 2$ , υπάρχει μια απλή σχέση 1 προς 1 μεταξύ των στρωμάτων και μετάδοσης των ports κεραιών. Εντούτοις, για τα συστήματα  $3 \times 2$  και  $4 \times 2$ , υπάρχουν μόνο δύο χωρικά κανάλια πολυπλεξίας. Επομένως, υπάρχει πλεονασμός είτε στο ένα είτε και στα δύο ρεύματα δεδομένων.

Η προκωδικοποίηση χρησιμοποιείται από κοινού με χωρική πολυπλεξία. Η τεχνική MIMO εκμεταλλεύεται τις πολλαπλές διαδρομές για να επιλύσει ανεξάρτητα τις χωρικές ροές δεδομένων. Με άλλα λόγια, τα συστήματα MIMO απαιτούν έναν ορισμένο βαθμό πολλαπλών διαδρομών για την αξιόπιστη λειτουργία. Σε ένα περιβάλλον με περιορισμένο θόρυβο και με λίγες πολλαπλές διαδρομές, τα συστήματα MIMO μπορούν πραγματικά να εξασθενίσουν.

### 2.2.3 Φυσικά Σήματα

Τα φυσικά σήματα χρησιμοποιούν ορισμένα στοιχεία των πόρων. Εντούτοις, αντίθετα από τα φυσικά κανάλια, τα φυσικά σήματα δεν μεταφέρουν πληροφορίες από τα υψηλότερα στρώματα και υπάρχουν δύο τύποι φυσικών σημάτων, τα σήματα αναφοράς, που χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν την απόκριση των καναλιών (CIR) και τα σήματα συγχρονισμού, που μεταφέρουν πληροφορίες συγχρονισμού δικτύων.



## **Σήματα Αναφοράς**

Τα σήματα αναφοράς παράγονται ως προϊόν μιας ορθογώνιας ακολουθίας και μιας ψευδοτυχαίας αριθμητικής ακολουθίας (PRN). Συνολικά υπάρχουν 510 πιθανά μοναδικά σήματα αναφοράς. Ένα καθορισμένο σήμα αναφοράς ορίζεται σε κάθε κύτταρο μέσα σε ένα δίκτυο και ενεργεί ως συγκεκριμένο κύτταρο. Τα σήματα αναφοράς μεταδίδονται σε ισοδιάστατους υπομεταφορείς ανάμεσα στο πρώτο και το τρίτο από το τελευταίο σύμβολο OFDM του κάθε slot. Το UE πρέπει να πάρει ένα ακριβές CIR από κάθε κεραία μετάδοσης. Επομένως, όταν μεταδίδεται ένα σήμα αναφοράς από ένα port κεραίας, τα άλλα port κεραίας στο κύτταρο είναι απασχολημένα. Τα σήματα αναφοράς στέλνονται σε κάθε έκτο υπομεταφορέα.

## **Σήματα Συγχρονισμού**

Τα σήματα συγχρονισμού χρησιμοποιούν τον ίδιο τύπο ψευδοτυχαίων ορθογώνιων ακολουθιών με τα σήματα αναφοράς. Αυτά είναι ταξινομημένα ως αρχικά και δευτερεύοντα σήματα συγχρονισμού, εξαρτώμενα από την χρήση του UE κατά τη διάρκεια διαδικασίας αναζήτησης κυττάρων. Τα αρχικά και τα δευτερεύοντα σήματα συγχρονισμού μεταδίδονται ενός 72 υπομεταφορείς που συγκεντρώνονται γύρω από το D/C υπομεταφορέα κατά τη διάρκεια των 0 και 10 slots ενός πλαισίου.

### **2.2.4 Κανάλια Μεταφοράς**

Τα κανάλια μεταφοράς συμπεριλαμβάνονται στο φυσικό επίπεδο LTE και ενεργούν ως σημεία πρόσβασης υπηρεσιών για τα υψηλότερα στρώματα. Τα κανάλια μεταφορών των downlink συνδέσεων αναφέρονται παρακάτω.

#### **Broadcast Channel (BCH)**

- Σταθερό σχήμα
- Ανάγκη για broadcast μετάδοση πέρα από την περιοχή κάλυψης του κυττάρου

### Downlink Shared Channel (DL-SCH)

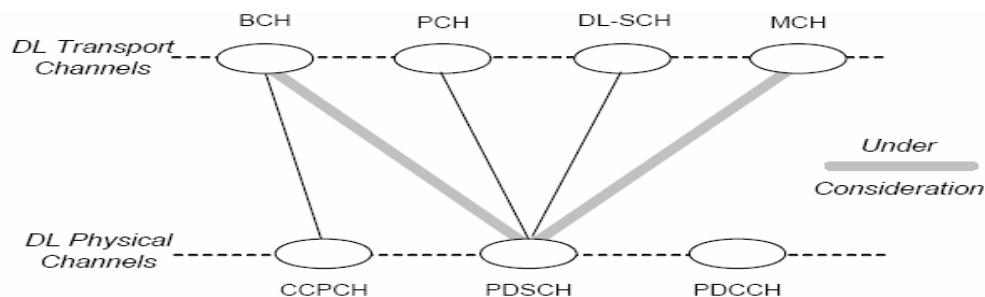
- Υποστήριξη υβριδικού ARQ (HARQ)
- Υποστήριξη δυναμικής προσαρμογής συνδέσεων από μεταβαλλόμενη διαμόρφωση, κωδικοποίηση και ισχύ μετάδοσης
- Κατάλληλο για τη μετάδοση πέρα από την περιοχή κάλυψης του κυττάρου
- Κατάλληλο για τη χρήση ραδιοσήματος
- Υποστήριξη για δυναμική και ήμι-στατική κατανομή των πόρων

### Paging Channel (PCH)

- Υποστήριξη UE DRX
- Ανάγκη για broadcast μετάδοση πέρα από την περιοχή κάλυψης του κυττάρου

### Multicast Channel (MCH)

- Απαίτηση για broadcast μετάδοση πέρα από την περιοχή κάλυψης του κυττάρου
- Υποστήριξη MB-SFN
- Υποστήριξη για ήμι-στατική κατανομή των πόρων



Εικόνα 8: Χαρτογράφηση φυσικών καναλιών προς κανάλια μεταφορών.

## 2.2.5 Κωδικοποίηση Καναλιού για Downlink

Για τα φυσικά κανάλια downlink υιοθετούνται διάφοροι αλγόριθμοι κωδικοποίησης. Για το κοινό κανάλι ελέγχου CCPCH, η διαμόρφωση περιορίζεται σε QPSK, ενώ το PDSCH χρησιμοποιεί τη διαμόρφωση 64QAM. Για τα κανάλια

ελέγχου η κύρια απαίτηση είναι η κάλυψη. Για την χρήση του CCPCH έχει επιλεγεί η συνελκτική κωδικοποίηση, αν και ακόμα δεν έχει γίνει κάποιος τελικός προσδιορισμός σχετικά με το ποσοστό κώδικα. Το PDSCH υιοθετεί την διαμόρφωση υψηλής πολυπλοκότητας για να πετύχει τα πιθανά υψηλά ποσοστά δεδομένων downlink συνδέσεων και χρησιμοποιεί QPSK, 16QAM ή 64QAM ανάλογα με τους όρους των καναλιών. Κατά συνέπεια, το κέρδος κωδικοποίησης είναι εμφανές πέρα από τη καθυστέρηση. Επίσης για το PDSCH έχει επιλεγεί το 1/3 του ποσοστού turbo κωδικοποίησης.

## 2.3 Uplink

Το φυσικό επίπεδο του LTE χρησιμοποιεί ως βασικό σχήμα μετάδοσης για το uplink τον ενιαίο μεταφορέα πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης συχνότητας Sc-FDMA. Η Sc-FDMA τεχνική είναι ουσιαστικά ένα σχέδιο πολυμεταφορέων που επαναχρησιμοποιεί πολλά από τα υπηρεσιακά blocks που περιλαμβάνονται στην αλυσίδα σημάτων του δέκτη UE OFDM. Το πλεονέκτημα της Sc-FDMA σε σχέση με το OFDM είναι ότι έχει χαμηλότερο PAPR που κυμαίνεται περίπου στα 2 DB.

### 2.3.1 Παράμετροι διαμόρφωσης

Στις εφαρμογές FDD, για το uplink χρησιμοποιείται η ίδια γενική δομή πλαισίων όπως και στην downlink σύνδεση. Χρησιμοποιεί επίσης το ίδιο διάστημα υπομεταφορέων των 15 kHz και PRB πλάτους 12 υπομεταφορέων. Οι παράμετροι διαμόρφωσης των downlink συνδέσεων, συμπεριλαμβανομένου του κανονικού και εκτεταμένου μήκους CP, είναι ίδιες με τις uplink παραμέτρους που παρουσιάζονται στον πίνακα 1 παραπάνω. Η διαμόρφωση υπομεταφορέων εντούτοις είναι πολύ διαφορετική.

Στο Uplink, τα δεδομένα χαρτογραφούνται πάνω σε έναν αστερισμό σημάτων που μπορεί να είναι QPSK, 16QAM ή 64QAM ανάλογα με την ποιότητα των καναλιών. Εντούτοις, παρά τη χρησιμοποίηση των συμβόλων QPSK και QAM για άμεση διαμόρφωση των υπομεταφορέων, όπως στην περίπτωση του OFDM, στο uplink τα σύμβολα τροφοδοτούνται διαδοχικά σε έναν τμηματικό - παράλληλο μετατροπέα και

έπειτα σε ένα block FFT. Το αποτέλεσμα του FFT block είναι ιδιαίτερα αντιπροσωπευτικό του πεδίου συχνότητας της ακολουθίας συμβόλων QPSK και QAM.

### **2.3.2 Φυσικά Κανάλια**

Στο Uplink τα φυσικά κανάλια χρησιμοποιούνται για να διαβιβάσουν τις πληροφορίες που δημιουργούνται στα στρώματα πάνω από το φυσικό επίπεδο. Τα φυσικά κανάλια Uplink περιγράφονται παρακάτω.

#### **Φυσικό κοινό κανάλι Uplink (PUSCH)**

Οι πόροι για το PUSCH διατίθενται σε μια βάση υποπλαισίων από το χρονοπρογραμματιστή uplink. Οι υπομεταφορείς προσδιορίζονται σε πολλαπλάσια των 12 PRBs και μπορούν να εναλλάσσονται από υποπλαίσιο σε υποπλαίσιο. Το κανάλι αυτό μπορεί να υιοθετήσει τις διαμορφώσεις QPSK, 16QAM και 64QAM.

#### **Φυσικό κανάλι ελέγχου Uplink (PUCCH)**

Το φυσικό κανάλι ελέγχου uplink φέρνει τις πληροφορίες ελέγχου. Δεν διαβιβάζεται ποτέ ταυτόχρονα με τα στοιχεία PUSCH και μεταβιβάζει τις πληροφορίες ελέγχου συμπεριλαμβανομένης της ποιοτικής ένδειξης καναλιών CQI, ACK/NACK, HARQ και uplink σχεδιάζοντας αιτήματα.

### **2.3.3 Φυσικά Σήματα**

Τα φυσικά σήματα Uplink χρησιμοποιούνται στο φυσικό επίπεδο και δεν μεταβιβάζουν τις πληροφορίες από τα υψηλότερα στρώματα. Υπάρχουν δύο τύποι φυσικών σημάτων στο uplink, το σήμα αναφοράς και τυχαίας προσπέλασης.

## Σήματα αναφοράς

Υπάρχουν δύο παραλλαγές του σήματος αναφοράς Uplink. Το σήμα αποδιαμόρφωσης το οποίο διευκολύνει τη συνεπή αποδιαμόρφωση και διαβιβάζεται στο τέταρτο σύμβολο Sc-FDMA του slot και έχει το ίδιο μέγεθος με τον προσδιορισμένο πόρο. Υπάρχει επίσης ένα ηχητικό σήμα αναφοράς που χρησιμοποιείται για να διευκολύνει τον εξαρτώμενο σχεδιασμό συχνότητας.

## Τυχαία προσπέλαση

Η διαδικασία τυχαίας προσπέλασης περιλαμβάνει το φυσικό επίπεδο και τα υψηλότερα στρώματα. Στο φυσικό επίπεδο, η διαδικασία αναζήτησης κυττάρων ξεκινά από τη μετάδοση της τυχαίας προσπέλασης από το UE. Εάν είναι επιτυχής, λαμβάνεται μια απάντηση τυχαίας προσπέλασης από το σταθμό βάσης.

### 2.3.4 Κανάλια Μεταφοράς

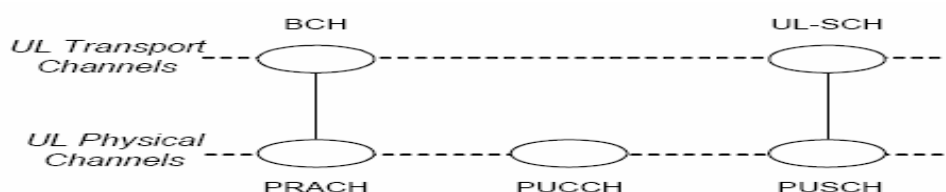
Όπως στο Downlink έτσι και στο Uplink τα κανάλια μεταφοράς ενεργούν ως σημεία πρόσβασης υπηρεσιών για τα υψηλότερα στρώματα στη στοίβα LTE. Τα χαρακτηριστικά των καναλιών μεταφορών Uplink περιγράφονται παρακάτω.

#### Κοινό κανάλι (ul-SCH)

- Υποστήριξη πιθανής χρήσης διαμόρφωσης δέσμης
- Υποστήριξη δυναμικής προσαρμογής συνδέσεων (μεταβολές διαμόρφωσης, κωδικοποίηση)
- Υποστήριξη για δυναμική και ήμι-στατική κατανομή πόρων

#### Κανάλι τυχαίας προσπέλασης (RACH)

- Υποστήριξη μετάδοσης περιορισμένων πληροφοριών ελέγχου
- Πιθανός κίνδυνος σύγκρουσης



Εικόνα 9: Χαρτογράφηση φυσικών καναλιών προς κανάλια μεταφορών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

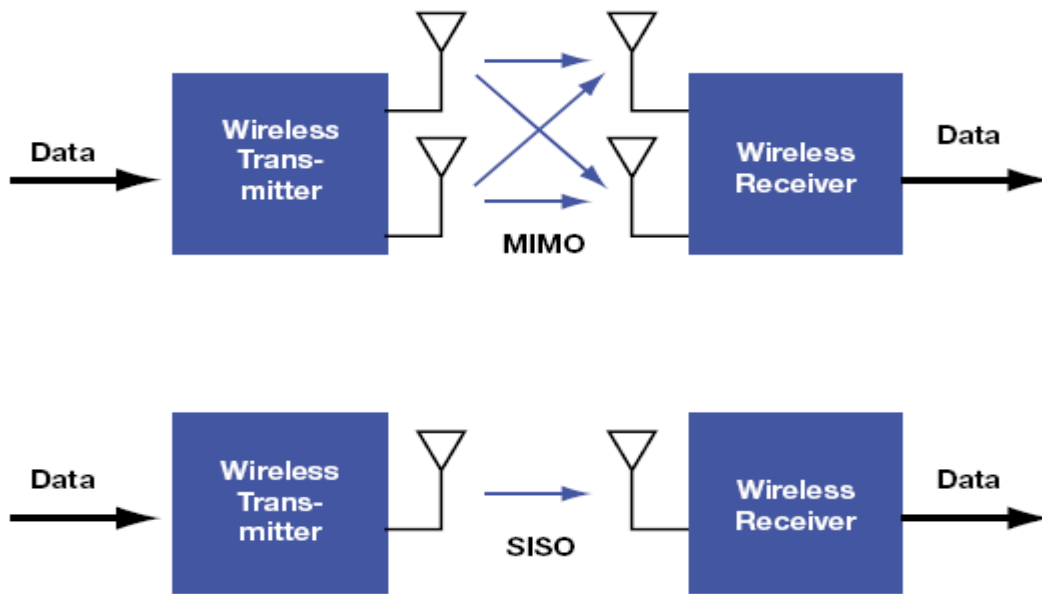
### ΎΞΥΠΝΕΣ ΚΕΡΑΙΕΣ

#### 3.1 Εξέλιξη των κεραιών

Η ζήτηση για ασύρματες υπηρεσίες επικοινωνιών έχει αυξηθεί κατά πολύ τα τελευταία χρόνια, με αποτέλεσμα η επιστημονική κοινότητα να αναζητά συνεχώς νέους τρόπους να αυξήσει τη φασματική απόδοση των ασύρματων δικτύων αλλά και τη μείωση της παρεμβολής από γειτονικά δίκτυα. Για παράδειγμα, η ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων WiFi είναι ραγδαία, ενώ έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό και δίκτυα RFID τόσο από επιχειρήσεις όσο και από ιδιώτες.

Με την εξέλιξη της επιστήμης αλλά και με την αύξηση των φασματικών απαιτήσεων άρχισε να χρησιμοποιείται και η τεχνική OFDM. Η μελέτη, ωστόσο της πολυπλεξίας ορθογωνικής διαίρεσης συχνότητας είχε ήδη ξεκινήσει από τη δεκαετία του 1980 αλλά τα συστήματα δεν ήταν υλοποιήσιμα λόγω υψηλού κόστους. Με το συνδυασμό της παραπάνω τεχνικής αλλά και τεχνικών πολλαπλής προσπέλασης, OFDMA, OFDM-TDMA, OFDM-CDMA, οδηγηθήκαμε στην αποτελεσματική χρησιμοποίηση του φάσματος αλλά και στην εξάλειψη της διασυμβολικής παρεμβολής. Παρόλα αυτά οι απαιτήσεις σε εύρος ζώνης και η ανάγκη για ανάπτυξη δικτύων με υψηλές ταχύτητες, όπως τα πρωτόκολλα 802.11n και 802.16, έκαναν επιτακτική την ανάγκη για ακόμα πιο καινοτόμες λύσεις, με συνέπεια την εμφάνιση και την υλοποίηση των έξυπνων κεραιών.

Μεγάλη επιδίωξη των ερευνητών πλέον είναι να υλοποιήσουν συστήματα MIMO (multi - input multi - output), δηλαδή με πολλές κεραιές στον πομπό και πολλές κεραιές στο δέκτη με αποτέλεσμα να εξυπηρετούν μεν ταυτόχρονα πολλούς χρήστες αλλά και να πετυχαίνουν σημαντική αύξηση του συνολικού κέρδους που προστίθεται στο λαμβανόμενο σήμα. Για τη σύγκρισή τους με τις συμβατικές κεραιές παραθέτουμε την παρακάτω εικόνα.

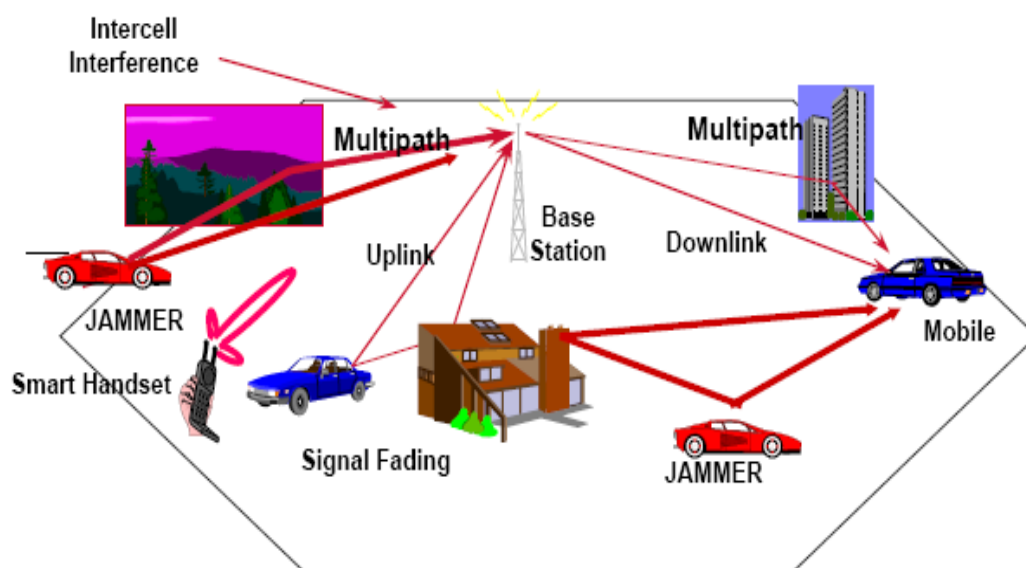


**Εικόνα 10: Σύγκριση MIMO και SISO κεραιών**

Βασικό χαρακτηριστικό των έξυπνων κεραιών είναι ότι οδηγούν σε διαχωρισμό των σημάτων και στο πεδίο του χώρου, γεγονός που μπορεί να κάνει δυνατή τη λήψη σημάτων που χρησιμοποιούν το ίδιο φάσμα, την ίδια χρονική στιγμή, με αμελητέα παρεμβολή μεταξύ τους. Μια πρώτη μέθοδος για να πραγματοποιήσουμε το χωρικό διαχωρισμό, είναι κεραιές που παράγουν έναν αριθμό από σταθερούς λοβούς ακτινοβολίας και με βάση διαφορετικούς αλγόριθμους επιλογής λοβού επιλέγουμε κάθε φορά το λοβό ακτινοβολίας που βελτιστοποιεί το σήμα του εκάστοτε χρήστη. Η τεχνική αυτή “μεταγωγής λοβών” (switched beams) αποτελεί μια σχετικά απλή μέθοδο υλοποίησης συστήματος έξυπνων κεραιών. Άλλες τεχνικές έξυπνων κεραιών βασίζονται σε προσαρμοστικές μεθόδους (adaptive solutions) και αποτελούν πιο προηγμένες τεχνικές υλοποίησης.

Η θεωρία πίσω από τις ευφυείς κεραιές δεν είναι καινούρια. Η τεχνική είχε για πολλά χρόνια χρησιμοποιηθεί στον ηλεκτρονικό πόλεμο (EWF) σαν αντίμετρο στην ηλεκτρονική παρεμβολή. Σε στρατιωτικά συστήματα ραντάρ παρόμοιες τεχνικές χρησιμοποιούνταν ήδη από τον 2<sup>ο</sup> Παγκόσμιο Πόλεμο. Υπάρχουν σε γενικές γραμμές διάφοροι τρόποι με τους οποίους μια προσαρμοστικά διευθετήσιμη ακτίνα κεραιών μπορεί να παραχθεί, παραδείγματος χάριν με μηχανικά οδηγούμενες κεραιές. Στις επόμενες παραγράφους θα προσπαθήσουμε να μελετήσουμε καλύτερα την υλοποίηση και λειτουργία των έξυπνων κεραιών και των συστημάτων αυτών, καθώς και τα οφέλη που μπορούμε να αποκομίσουμε από τη χρήση τους.

### 3.2 Συστήματα έξυπνων κεραιών



Εικόνα 11: Σύστημα έξυπνων κεραιών για χρήση σε μια αστική περιοχή

Στην πραγματικότητα δεν είναι έξυπνες οι κεραιές αλλά τα συστήματα κεραιών. Συνήθως τα συστήματα αυτά, που θα μας απασχολήσουν και στο υπόλοιπο της μελέτης μας, εγκαθίστανται στο σταθμό βάσης, κυρίως λόγω όγκου. Τα τελευταία χρόνια, όμως αρχίζουν να γίνονται προσπάθειες για χρήση των έξυπνων κεραιών και σε τερματικά, κινητά ή μη. Βασικό χαρακτηριστικό της λειτουργίας τους είναι ότι συνδυάζουν την απλή διάταξη κεραιάς με τη διαδικασία ψηφιακής επεξεργασίας σήματος καθώς και της προσαρμοζόμενης και με μεγάλη ευαισθησία ικανότητας εκπομπής και λήψης. Με απλά λόγια, ένα σύστημα έξυπνης κεραιάς μπορεί αυτόματα να αλλάξει την κατευθυντικότητα του διαγράμματος ακτινοβολίας της κεραιάς του για βελτίωση του εκπεμπόμενου ή λαμβανόμενου σήματος. Αποτελούν επομένως είδος στοιχειοκεραίας με έναν συγκεκριμένο αριθμό στοιχείων, συνήθως από 4 με 12, που κατανέμονται στο χώρο με τρόπο γραμμικό, κυκλικό ή πολικό. Ο συνδυασμός των διαγραμμάτων ακτινοβολίας των επιμέρους κεραιών δημιουργούν αυτό της έξυπνης κεραιάς που μπορεί να επεξεργαστεί στη συνέχεια με πολύπλοκους αλγόριθμους και να πάρουμε το επιθυμητό διάγραμμα.



### 3.3 Είδη έξυπνων κεραιών

Μια έξυπνη κεραία αποτελείται από διάφορα στοιχεία, τα οποία συνδυάζονται μέσω ενός συστήματος ελέγχου ώστε να παράγουν κάθε φορά το επιθυμητό διάγραμμα ακτινοβολίας. Οι έξυπνες κεραιές γενικά, μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: τις κεραιές μεταγωγής λοβών (switched beam), που αποτελούνται από ένα συγκεκριμένο αριθμό λοβών οριζόμενο από το σχεδιαστή, και σε αυτές με προσαρμοζόμενο διάγραμμα ακτινοβολίας (adaptive array), που αποτελούνται από ένα απεριόριστο αριθμό μερών προσαρμοζόμενα σε πραγματικό χρόνο.

#### 3.3.1 Κεραιές μεταγωγής λοβών (switched beam antennas)

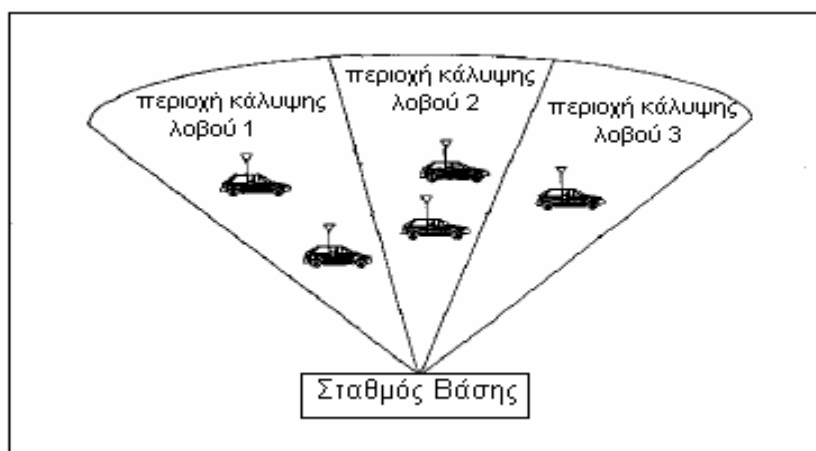
Το διάγραμμα ακτινοβολίας μιας τέτοιας κεραιάς αποτελείται από σταθερούς λοβούς ευαίσθητους σε εκπομπή και λήψη μόνο σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Όταν για παράδειγμα το σύστημα της έξυπνης κεραιάς έχει εγκατασταθεί στο σταθμό βάσης ο κινούμενος χρήστης διαπέμπεται από τον ένα λοβό στον άλλο ανάλογα με τη γωνία άφιξης του σήματος, ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή στάθμη ισχύος. Με τον τρόπο αυτό και εκμεταλλευόμενοι τη δυνατότητα του χωρικού διαχωρισμού (spatial diversity) πετυχαίνουμε το συνδυασμό πολλών κεραιών με μεγάλη κατευθυντικότητα σε μια έξυπνη κεραία που χωρίζει το χώρο σε πολλούς τομείς ανεξάρτητους μεταξύ τους. Ένα παράδειγμα τέτοιου διαγράμματος ακτινοβολίας εικονίζεται στην παρακάτω εικόνα.



**Εικόνα 12: Διάγραμμα ακτινοβολίας κεραιάς switched beams.**

Εκ πρώτης όψεως, ο αλγόριθμος μεταγωγής λοβών φαίνεται να δουλεύει καλά κυρίως σε περιπτώσεις που το σήμα λαμβάνεται από μια συγκεκριμένη γωνία άφιξης. Ακόμη όμως και στην περίπτωση που το σήμα εμφανίζει γωνιακή διασπορά, αν η εν λόγω γωνιακή διασπορά είναι μικρότερη από το γωνιακό εύρος κάθε λοβού ακτινοβολίας, τότε μπορούν να προκύψουν σημαντικά οφέλη από μία έξυπνη κεραία μεταγωγής λοβών.

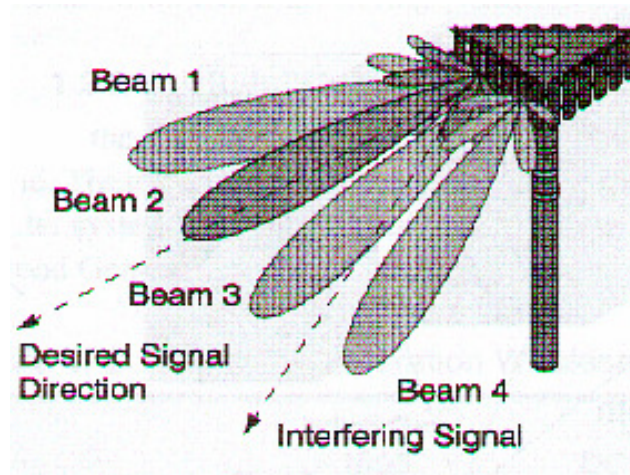
Η ιδέα της μεταγωγής λοβών γίνεται φανερή και από την παρακάτω εικόνα. Σε αυτό έχουμε την περίπτωση ενός τομέα 120° στον οποίο έχουμε τοποθετήσει μια έξυπνη κεραία με τρεις σταθερούς λοβούς ακτινοβολίας. Κάθε λοβός έχει εύρος 40° και εξυπηρετεί τους χρήστες που βρίσκονται εντός της περιοχής κάλυψής του. Αν υποθέσουμε ότι οι χρήστες είναι ομοιόμορφα κατανεμημένοι στον τομέα, τότε θα πρέπει οι παρεμβολές να μειωθούν κατά ένα παράγοντα ίσο με τρία, σε σχέση με την περίπτωση που χρησιμοποιούσαμε μια συμβατική sector κεραία, η οποία θα εξέπεμπε με το ίδιο κέρδος στο αζιμουθιακό εύρος των 120°.



**Εικόνα 13: Τρεις σταθεροί λοβοί ακτινοβολίας για κάλυψη τομέα εύρους 120°**

Η ταχύτητα δεν αποτελεί πρόβλημα για την υλοποίηση κεραιών μεταγωγής λοβών και ο λόγος είναι ότι γενικά, η επιλογή διαγραμμάτων μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να γίνει αρκετά γρήγορα. Δηλαδή το σύστημα είναι σε θέση να προσδιορίσει σε ποια ακτίνα ο συνδρομητής στόχων ανήκει, πριν από τις κινήσεις συνδρομητών στόχων σε μια διαφορετική ακτίνα και επομένως να διαπέμψει το χρήστη από έναν λοβό σε κάποιον άλλο. Το βασικό πρόβλημα της μεθόδου αυτής εντοπίζεται, όταν η παρεμβολή είναι ισχυρότερη από το επιθυμητό σήμα. Τότε η μέθοδος αυτή μπορεί να

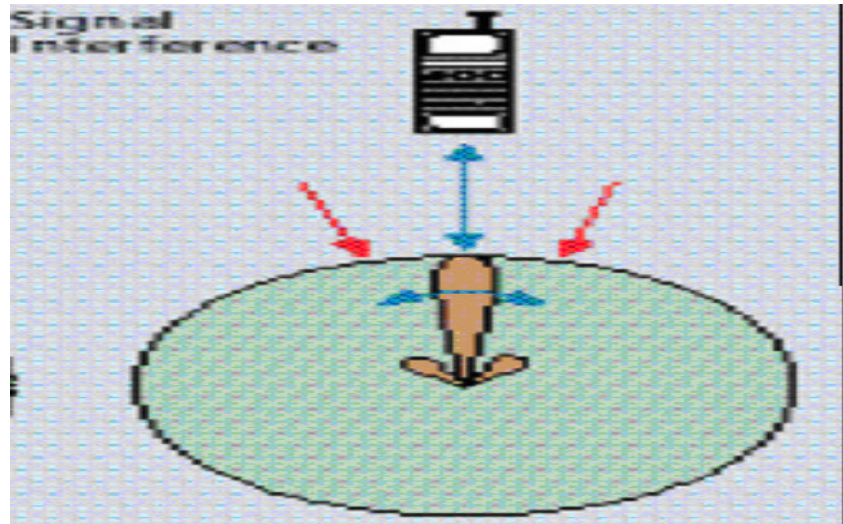
μην αποδώσει σωστά και να προκύψουν εσφαλμένα συμπεράσματα για την θέση του στόχου, οδηγώντας στην διακοπή της επικοινωνίας ανάμεσα στο σταθμό και στο χρήστη.



Εικόνα 14: Λειτουργία κεραίας switched beams με παρεμβάλλον σήμα.

### 3.3.2 Κεραίες με στροφή φάσης (phased array)

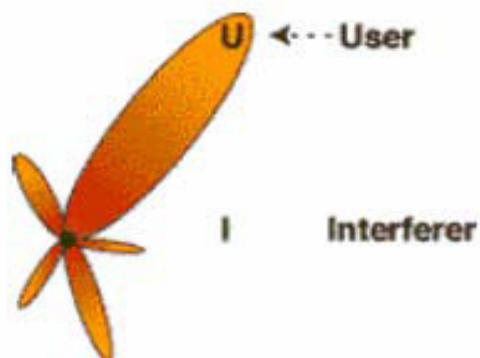
Στην μέθοδο αυτή παράγεται μια ψηφιακή ακτίνα η οποία στρέφεται προς το ισχυρότερο σήμα παρακολουθώντας τις κινήσεις του τερματικού. Βασικό ρόλο παίζει το περιβάλλον και η κινητικότητα του χρήστη καθώς και η ταχύτητα με την οποία υπολογίζεται η εκάστοτε θέση του, σύμφωνα με τον αλγόριθμο που χρησιμοποιείται. Με την εισαγωγή ενός αλγορίθμου DoA (Direction of Arrival) για το λαμβανόμενο από τον χρήστη σήμα, μπορεί να επιτευχθεί συνεχής παρακολούθηση. Αυτό μπορεί να ληφθεί σαν μια γενίκευση της έννοιας “switched lobe”. Σε αυτή την περίπτωση μεγιστοποιείται η λαμβανόμενη ισχύς. Ένα τέτοιο παράδειγμα εικονίζεται στο ακόλουθο σχήμα, όπου με μπλε γραμμή είναι το επιθυμητό σήμα και παρακολουθείται ανά πάσα στιγμή από τον κύριο λοβό, ενώ με την κόκκινη γραμμή είναι η παρεμβολή από κάποιον άλλο χρήστη.



**Εικόνα 15: Κεραία phased array**

### **3.3.3 Κεραίες με προσαρμοζόμενο διάγραμμα ακτινοβολίας (adaptive array)**

Αποτελεί το πιο προηγμένο τεχνολογικά σύστημα έξυπνης κεραίας χρησιμοποιώντας πολλούς και πολύπλοκους αλγορίθμους. Βασική αρχή των προσαρμοζόμενων κεραιών είναι η ανίχνευση του σήματος στον περιβάλλοντα χώρο της κεραίας και μέσα από πολύπλοκες διαδικασίες η ενίσχυση του επιθυμητού καθώς και η απόσβεση του παρεμβάλλοντος σήματος. Αυτό πετυχαίνεται μέσα από τη στροφή των λοβών ακτινοβολίας, ώστε ο κύριος λοβός να λαμβάνει το επιθυμητό σήμα και οι πλευρικοί, που προφανώς έχουν πολύ μικρότερο κέρδος, να δέχονται και να εξασθενούν το ανεπιθύμητο, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα. Ουσιαστικά είναι η μόνη τεχνική που πετυχαίνει αύξηση του κέρδους ανάλογα με την εκάστοτε θέση των χρηστών.



**Εικόνα 16: Κεραία adaptive array**

Σε αυτή την περίπτωση προστίθεται ένας αλγόριθμος DoA (Direction of Arrival) για να υπολογιστεί η κατεύθυνση προς τις πηγές παρεμβολής. Το διάγραμμα ακτινοβολίας μπορεί να προσαρμοστεί για να αποκλείσει τις παρεμβολές. Επιπροσθέτως, με τη χρήση ειδικών αλγορίθμων και τεχνικών διαφορικότητας χώρου (SDMA), το διάγραμμα ακτινοβολίας μπορεί να προσαρμοστεί έτσι ώστε να λαμβάνει σήματα πολλαπλών διαδρομών που μπορούν να συνδυαστούν. Αυτές οι τεχνικές μπορούν να μεγιστοποιήσουν τον λόγο σήματος προς παρεμβολή (Signal to Interference Ratio SIR) ή τον λόγο σήματος προς παρεμβολή και θόρυβο (Signal to Noise and Interference Ratio SINR). Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το διάγραμμα ακτινοβολίας μιας τέτοιας κεραίας που προσαρμόζει τον κύριο λοβό στον επιθυμητό χρήστη και το δευτερεύων στον παρεμβάλλοντα.

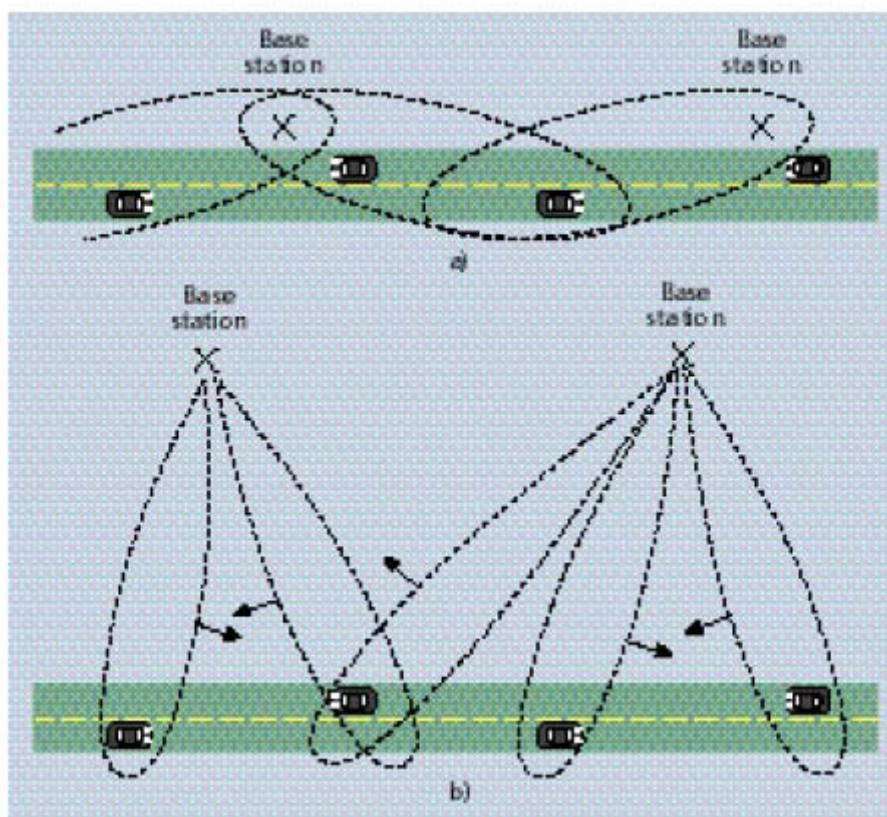


**Εικόνα 17: Λειτουργία κεραίας adaptive array με παρεμβάλλον χρήστη**

### **3.4 Ραδιοσχεδιασμός**

Για να έχουν οι ευφυείς κεραίες το επιθυμητό κέρδος, θα πρέπει οι σταθμοί βάσης να έχουν τη δυνατότητα να ξεχωρίζουν τους χρήστες σύμφωνα με τη γωνία. Αυτό σημαίνει ότι κάποιες από τις υπάρχουσες στρατηγικές ραδιοσχεδιασμού θα πρέπει να μεταβληθούν. Στα υπάρχοντα δίκτυα οι σταθμοί βάσης τοποθετούνται συνήθως κατά μήκος των δρόμων ταχείας κυκλοφορίας και των σιδηροδρομικών σταθμών. Από την πλευρά μιας ευφυούς κεραίας είναι πολύ πιο αποτελεσματική η τοποθέτηση του σταθμού βάσης μακριά από τον δρόμο ή τον σιδηρόδρομο. Με αυτόν

τον τρόπο μπορεί να γίνει εκμετάλλευση της χωρικής διάστασης. Η στρατηγική αυτή παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



**Εικόνα 18: Στρατηγική για το χώρο τοποθέτησης των έξυπνων κεραιών**

Ένα άλλο δύσκολο σημείο είναι οι μικρές αστικές κυψέλες με σταθμούς βάσης τοποθετημένους κάτω από το επίπεδο των στεγών. Σε αυτές τις περιπτώσεις το σήμα, τόσο από τους επιθυμητούς χρήστες όσο και από τους παρεμβάλλοντες θα τείνει να φτάνει μέσω των οδών, καθιστώντας δύσκολο το γωνιακό τους διαχωρισμό.

### **3.5 Τα πλεονεκτήματα των έξυπνων κεραιών**

Η υιοθέτηση των τεχνικών έξυπνων κεραιών στα μελλοντικής γενιάς ασύρματα συστήματα θα απαιτεί τα χαρακτηριστικά της έξυπνης κεραιάς να είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι του σχεδιασμού του συστήματος με σκοπό να παρέχει το αναμενόμενο αποτέλεσμα ως αναφορά την αποτελεσματική χρήση του φάσματος, την ελαχιστοποίηση του κόστους εγκατάστασης νέων ασύρματων δικτύων, την αύξηση της ποιότητας υπηρεσιών και την γενικότερη πραγματοποίηση μιας εύρωστης και

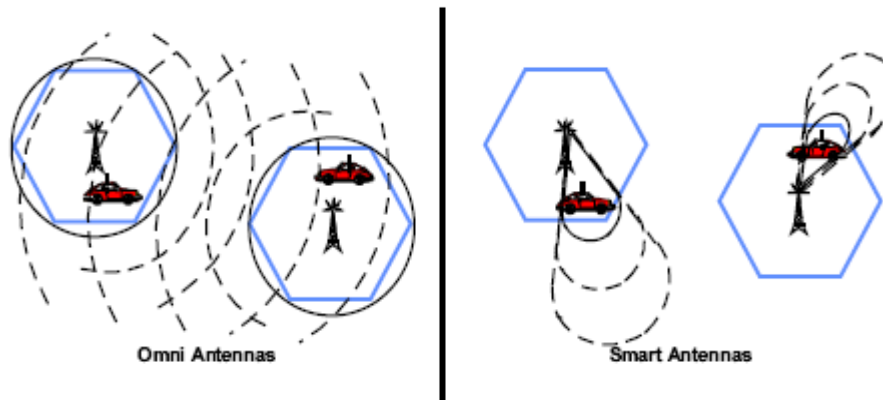
διαφανούς λειτουργίας των ασύρματων δικτύων. Κατά συνέπεια, η σύγχρονη ερευνητική δραστηριότητα στον τομέα αυτό επικεντρώνεται στα ακόλουθα ιδιαίτερα σημαντικά ζητήματα:

- Το σχεδιασμό και την ανάπτυξη προχωρημένων αλγορίθμων επεξεργασίας έξυπνων κεραιών που επιτρέπουν προσαρμογή σε ποικίλες συνθήκες δικτύου και διάδοσης καθώς και ευρωστία έναντι βλαβών του δικτύου.
- Το σχεδιασμό και την ανάπτυξη καινοτόμων στρατηγικών έξυπνων κεραιών για βελτιστοποίηση της απόδοσης στο επίπεδο συστήματος και διαφανής λειτουργία κατά μήκος των διαφόρων ασύρματων συστημάτων.
- Ρεαλιστική εκτίμηση της απόδοσης των προτεινόμενων αλγορίθμων και στρατηγικών, βασισμένων στη μορφοποίηση ακριβέστατων καναλιών και μοντέλων παρεμβολής και την εισαγωγή κατάλληλων μετρικών απόδοσης και μεθοδολογιών προσομοίωσης.
- Ανάλυση των ζητημάτων εκτέλεσης, πολυπλοκότητας και κόστους που σχετίζονται με την πραγματοποίηση των προτεινόμενων τεχνικών έξυπνων κεραιών για ασύρματα συστήματα μελλοντικής γενιάς.

Ο λόγος εκδήλωσης ενδιαφέροντος για τα συστήματα έξυπνων κεραιών οφείλεται στην πληθώρα πλεονεκτημάτων, τα οποία περιγράφονται παρακάτω:

### **Μείωση της παρεμβολής**

Ένα από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα των έξυπνων κεραιών και από τους κύριους λόγους που άρχισε η ανάπτυξή τους είναι ότι πετυχαίνουν σημαντική μείωση της παρεμβολής μεταξύ χρηστών. Στην περίπτωση για παράδειγμα κυψελωτών δικτύων, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, οι πιθανότητες για παρεμβολή μεταξύ δύο σταθμών βάσεων που εκπέμπουν από κοντινές κυψέλες μειώνεται δραματικά.

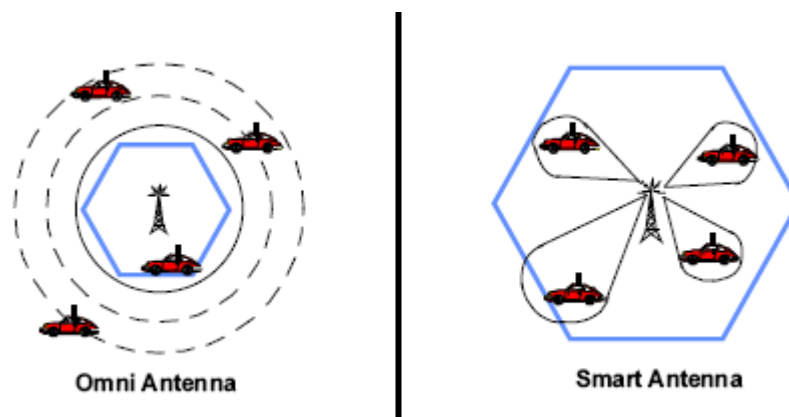


**Εικόνα 19: Μείωση παρεμβολής με χρήση συστημάτων έξυπνων κεραιών.**

Ωστόσο, παραμένει ένα μικρό ποσοστό χρόνου κατά τη διάρκεια του οποίου η διακαναλική παρεμβολή είναι υψηλή. Αυτό συμβαίνει όταν ένα κινητό τερματικό βρίσκεται μέσα στην περιοχή που καλύπτει ο κύριος λοβός ενός γειτονικού σταθμού βάσης και επιπλέον χρησιμοποιούν και οι δύο την ίδια συχνότητα. Τα πρόβλημα πάντως μπορεί να λυθεί με διαπομπή του τερματικού σε άλλο κανάλι που δε δέχεται τόσο ισχυρή παρεμβολή.

### Επέκταση της ραδιοκάλυψης

Σε αραιοκατοικημένες περιοχές, βασικός στόχος δεν είναι συνήθως η αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου αλλά η επέκταση της ακτίνας ραδιοκάλυψης με όσο το δυνατόν χαμηλότερη ισχύ. Με τις έξυπνες κεραιές κάτι τέτοιο είναι εφικτό και μάλιστα σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από τις ομοιοκατευθυντικές.



**Εικόνα 20: Επέκταση ραδιοκάλυψης**



Η ισχύς δεν εκπέμπεται πλέον προς κάθε κατεύθυνση εντός της περιοχής κάλυψης της κυψέλης, αλλά η εκπομπή γίνεται με κατευθυντικό τρόπο, ώστε να ταιριάζει στις ιδιαίτερες ανάγκες της ζεύξης κάθε χρήστη. Μπορεί να αποδειχτεί ότι μια έξυπνη κεραία με  $N$  τον αριθμό στοιχεία αυξάνει το σηματοθορυβικό λόγο SNR (με παρουσία λευκού προσθετικού θορύβου τύπου Gauss) κατά ένα παράγοντα περίπου ίσο με  $G \approx 10 \cdot \log_{10}(N)$ .

Σε αραιοκατοικημένες περιοχές η ραδιοκάλυψη είναι πιο σημαντική από την χωρητικότητα για την απόφαση της ανάπτυξης ενός σταθμού βάσης. Η αύξηση της εμβέλειας πραγματοποιείται λόγω του ότι οι ευφυείς κεραίες είναι περισσότερο κατευθυντικές από τις παραδοσιακές τμηματοποιημένες ή πολυκατευθυντικές κεραίες. Αυτό σημαίνει ότι οι σταθμοί βάσης μπορούν να τοποθετηθούν πιο μακριά ο ένας από τον άλλον, πράγμα το οποίο οδηγεί σε μια πιο αποτελεσματική από άποψη κέρδους ανάπτυξη. Το κέρδος της κεραίας συγκρινόμενο με αυτό κεραίας ενός στοιχείου μπορεί να αυξηθεί κατά έναν αριθμό ίσο με τον αριθμό στοιχείων της συστοιχίας, για παράδειγμα μια συστοιχία 8 στοιχείων μπορεί να αποδώσει ένα κέρδος της τάξεως του 8 (9dB).

### **Αυξημένη φασματική αξιοπιστία/ αύξηση της χωρητικότητας.**

Ο ακριβής έλεγχος της μεταδιδόμενης και λαμβανόμενης ισχύος καθώς και η εκμετάλλευση των ιδιοτήτων του λαμβανόμενου σήματος επιτρέπουν μείωση της παρεμβολής και αυξημένους αριθμούς χρηστών που μοιράζονται τις ίδιες διαθέσιμες πηγές αποθέματα (time, frequency, code) ή και χρήση των πηγών από χρήστες που εξυπηρετούνται από τον ίδιο σταθμό βάσης ή σημείο πρόσβασης (base station/ access point). Γενικά οι έξυπνες κεραίες θα αυξήσουν τον λόγο σήματος προς την παρεμβολή (SIR) με ταυτόχρονη αύξηση του επιπέδου του χρήσιμου λαμβανόμενου σήματος και μείωση του επιπέδου παρεμβολής.

### **Ασφάλεια**

Σε μια κοινωνία, που γίνεται ολοένα και πιο εξαρτώμενη από την διεξαγωγή εμπορίου και μετάδοση προσωπικών πληροφοριών, η ασφάλεια είναι ένα ουσιαστικό ζήτημα. Με την εισαγωγή έξυπνων κεραιών γίνεται πολύ δύσκολη η εισχώρηση σε μια σύνδεση, γιατί ο «παρείσακτος» πρέπει να λάβει θέση στην ίδια κατεύθυνση με

τον χρήστη όπως αυτός φαίνεται από τον σταθμό βάσης για την επιτυχή εισχώρηση στην σύνδεση.

### **Βελτίωση της ποιότητας υπηρεσίας**

Η βελτίωση του σηματοθορυβικού λόγου SNR κατά ένα παράγοντα  $G$  είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί προς αύξηση της ποιότητας του λαμβανόμενου σήματος. Το γεγονός αυτό θα έχει ως άμεση συνέπεια τη μείωση του ρυθμού των λαμβανόμενων ψηφίων, BER. Ας υποθέσουμε ότι θέλουμε να υποστηρίξουμε ένα χρήστη, του οποίου η υπηρεσία απαιτεί ένα δεδομένο κατώφλι BER και που απέχει μια συγκεκριμένη απόσταση από το σταθμό βάσης. Αν στο σταθμό βάσης κάνουμε χρήση μιας έξυπνης κεραίας, τότε για τον ίδιο χρήστη που απέχει την ίδια απόσταση από το σταθμό βάσης είμαστε σε θέση να τον εξυπηρετήσουμε με χαμηλότερο BER και έτσι να του παρέχουμε καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας.

### **Εξοικονόμηση ενέργειας**

Σε ορισμένες περιπτώσεις, η αύξηση της ραδιοκάλυψης δεν αποτελεί ένα επιθυμητό στόχο. Το επιπλέον όμως κέρδος που προσδίδουν οι έξυπνες κεραίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί ούτως ώστε να ελαττωθεί η εκπεμπόμενη ισχύς από τα κινητά τερματικά. Κάτι τέτοιο είναι ιδιαίτερα ωφέλιμο, αφού έτσι θα διαρκεί περισσότερο η μπαταρία του κινητού. Αν καταφέρουμε να εκμεταλλευτούμε το παραπάνω γεγονός σε πλήρη έκταση, θα μπορούσαμε να οδηγηθούμε μελλοντικά σε συσκευές με μικρότερο μέγεθος, μιας και θα μειωθούν οι απαιτήσεις μας σε μπαταρία.

### **Αποτελεσματικότερος έλεγχος ισχύος και έξυπνη διαπομπή**

Το κέρδος  $G$  που προσφέρει η έξυπνη κεραία έχει ως συνέπεια τη μείωση του φαινομένου των γρήγορων διαλείψεων. Το λαμβανόμενο σήμα είναι πλέον ισχυρότερο και οι παρεμβολές χαμηλότερες εξαιτίας του φιλτραρίσματος στο πεδίο του χώρου. Όλα τα παραπάνω κάνουν πιο εύκολες τις απαιτήσεις του έλεγχου ισχύος. Οι γρήγορες διαλείψεις και οι περιπτώσεις έντονης σκίασης μπορούν να αναγκάσουν το κινητό να εκπέμψει οριακά υψηλή ισχύ για να πετύχει το απαιτούμενο κατώφλι SINR. Άρα το κέρδος  $G$  από μια έξυπνη κεραία βοηθά αποφασιστικά στο να

εξομαλυνθεί η κατάσταση και έτσι να οδηγηθούμε σε αποτελεσματικότερο έλεγχο ισχύος.

Οι έξυπνες κεραιές μπορούν να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τη θέση ενός χρήστη μέσα σε μια κυψέλη. Οι κεραιές μεταγωγής λοβού μπορούν να μας πληροφορήσουν σε ποιου λοβού την περιοχή κάλυψης ανήκει κάθε χρήστης. Οι πιο εξελιγμένες προσαρμοστικές μέθοδοι είναι σε θέση να δώσουν ακριβέστερες πληροφορίες σχετικά με τη θέση και την ταχύτητα του χρήστη. Όλα αυτά είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν στη διαπομπή, αφού πλέον θα γνωρίζουμε πότε ένα τερματικό θα διασχίσει το σύνορο δύο κυψελών. Έτσι, η διαπομπή μετατρέπεται από “ήπια” ή “ηπιότερη” σε “έξυπνη διαπομπή”. Επιπλέον, έχοντας στα χέρια μας πληροφορίες σχετικά με το που βρίσκονται οι χρήστες του δικτύου, μπορούμε να εκχωρήσουμε διαύλους με δυναμικό τρόπο σε κυψέλες που το έχουν ανάγκη, με αποτέλεσμα να αυξήσουμε τη χωρητικότητα του δικτύου.

### **Εντοπισμός χρήστη για κλήσεις έκτακτης ανάγκης**

Πρόσφατες προδιαγραφές από κυβερνητικά σώματα, οι οποίες αφορούν στον εντοπισμό των χρηστών κινητής τηλεφωνίας όταν αυτοί πραγματοποιούν μια κλήση επείγουσας ανάγκης, έχει στρέψει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας προς τις έξυπνες κεραιές, ανάμεσα σε άλλες προτεινόμενες τεχνικές. Πιο κατάλληλες για αυτό είναι οι προσαρμοστικές κεραιές που παρέχουν πληροφόρηση για τη θέση κάποιου χρήστη στο δίκτυο. Οι κεραιές μεταγωγής λοβού μπορούν να δώσουν και αυτές πληροφορίες σχετικά με τη θέση ενός χρήστη στο δίκτυο και άρα να βοηθήσουν στην επίλυση του προβλήματος.

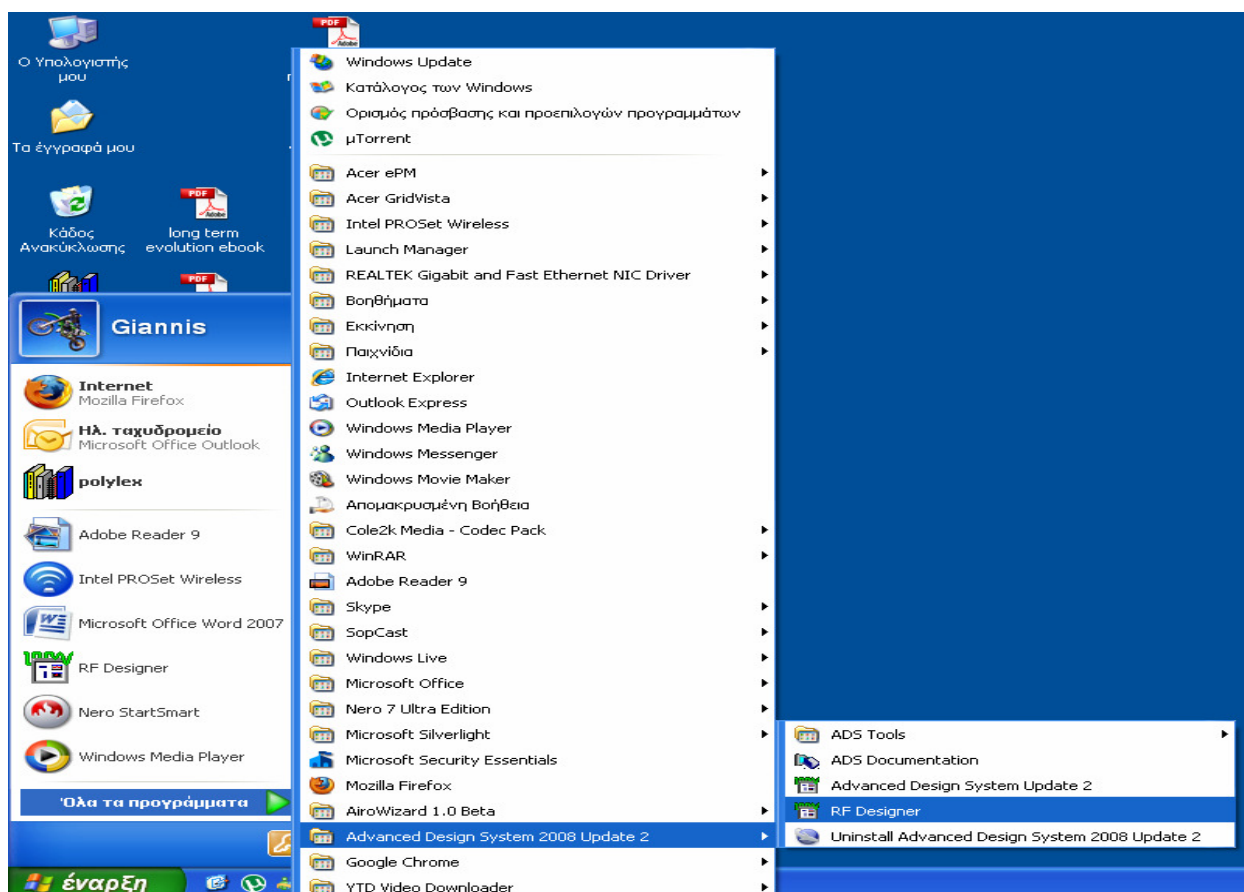
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

## ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΙΜΟ

### 4.1 Πρόσβαση στην εφαρμογή

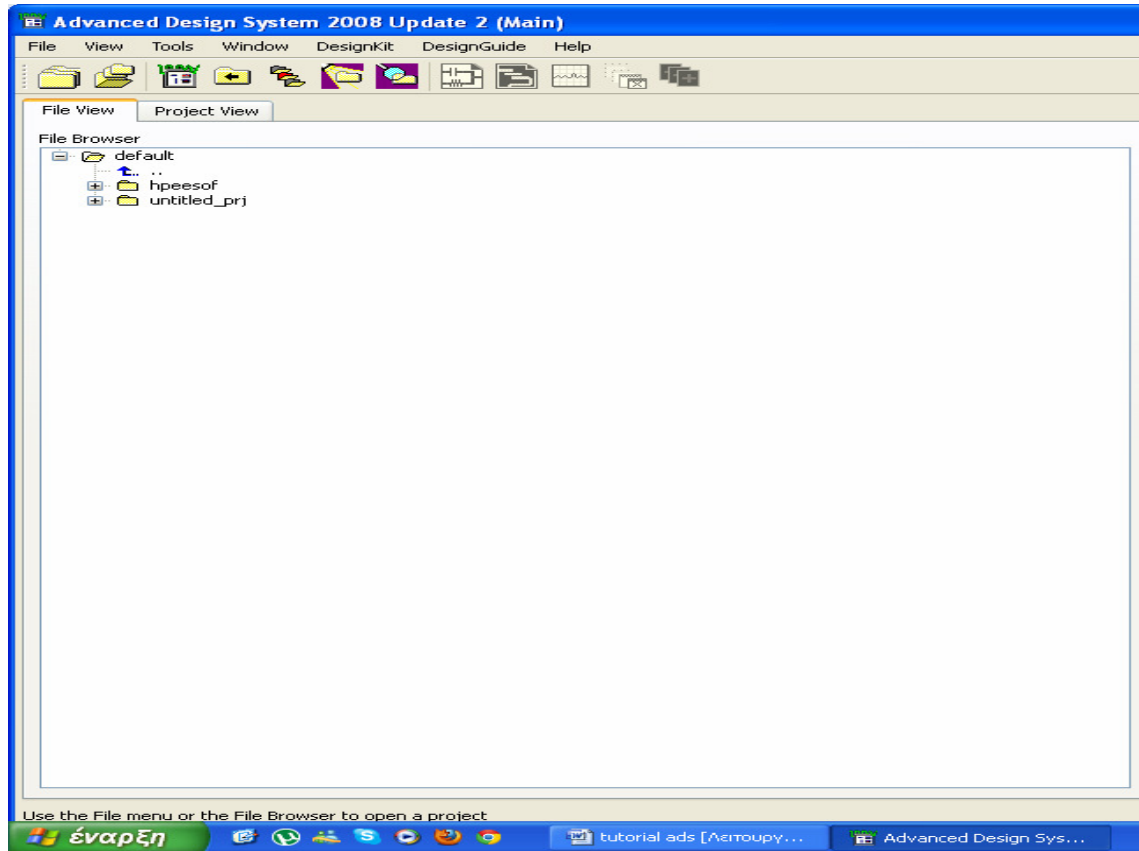
Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξετάσουμε βήμα προς βήμα το μοντέλο έξυπνων κεραιών MIMO (Multiple Input Multiple Output) και θα προσομοιάσουμε τις επιδόσεις του με την βοήθεια του εργαλείου προσομοίωσης Advanced Design System (ADS).

Το πρώτο βήμα είναι να αποκτήσουμε πρόσβαση στην εφαρμογή ADS. Η εικόνα 21 δείχνει πώς μπορούμε να αποκτήσουμε πρόσβαση στην εφαρμογή.



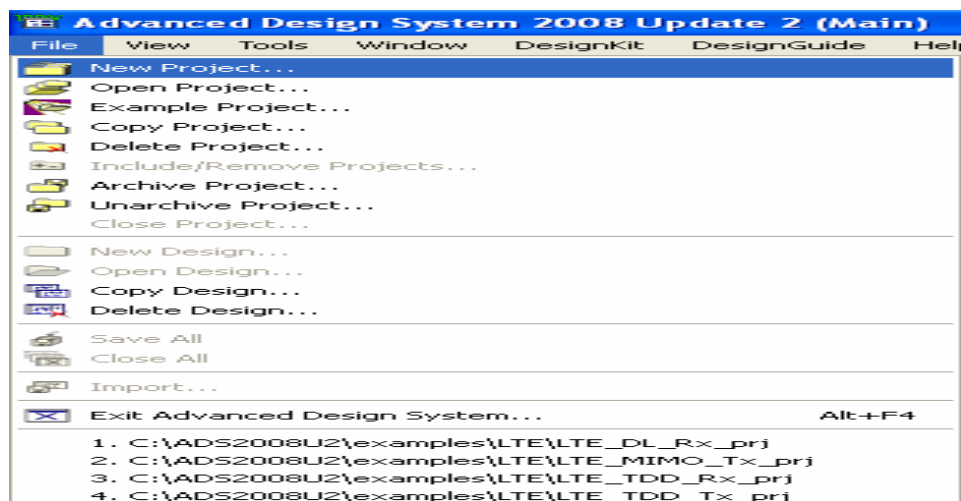
Εικόνα 21: Πρόσβαση στην εφαρμογή

Μόλις η εφαρμογή έχει φορτωθεί, θα δούμε την οθόνη που φαίνεται στην εικόνα 22.



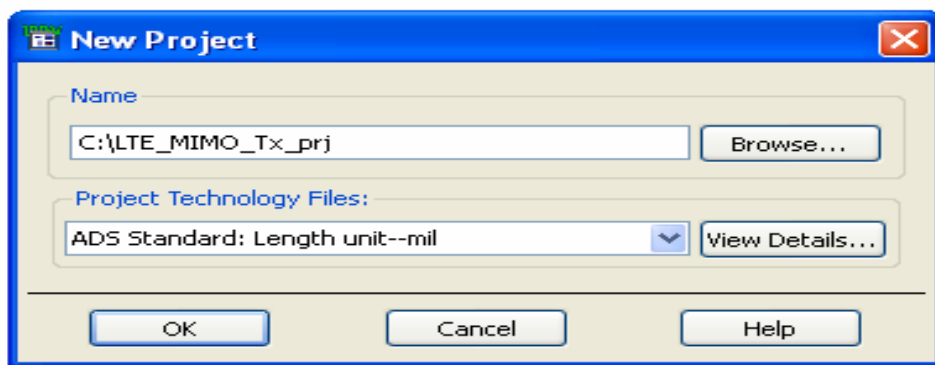
**Εικόνα 22: Οθόνη εργασίας**

Για την δημιουργία νέου project κάνουμε κλικ στο File -> New Project όπως φαίνεται στην εικόνα 23.



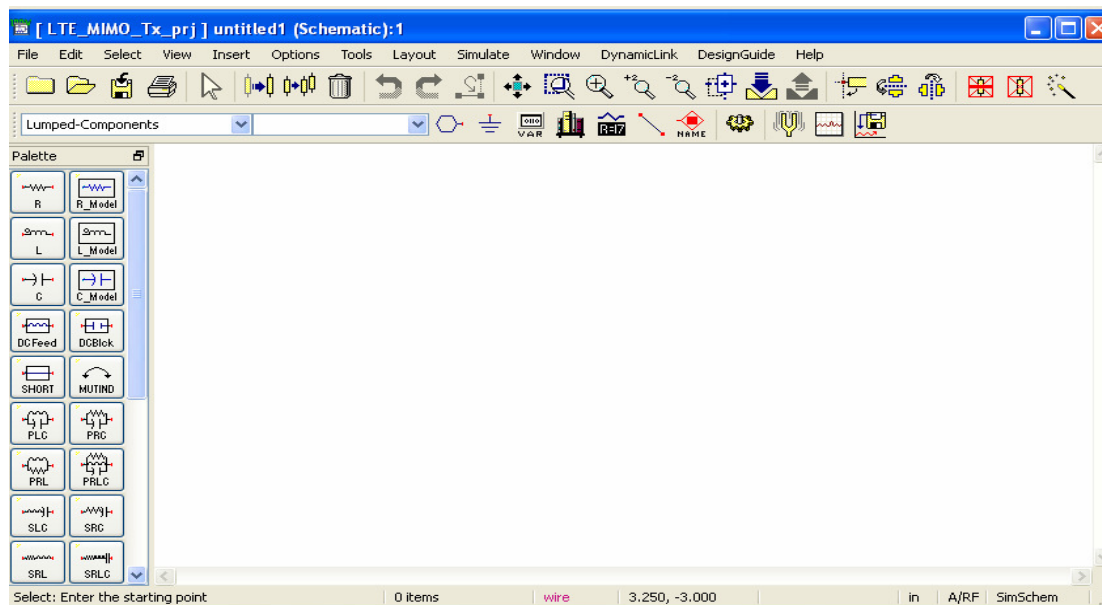
**Εικόνα 23: Δημιουργία νέου Project**

Το σύστημα θα μας ζητήσει το path για το νέο project. Η προεπιλογή είναι C: \ Users \ default. Για παράδειγμα, το C: \ LTE\_MIMO\_Tx\_prj είναι μια έγκυρη διαδρομή για ένα σωστό project. Όλα τα ονόματα ή τίτλους του project πρέπει να τελειώνουν σε \_prj. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα μας, το όνομα του έργου είναι LTE\_MIMO\_Tx\_prj . Ως εκ τούτου, όπως φαίνεται στο εικόνα 24, η σωστή διαδρομή είναι C: \ LTE\_MIMO\_Tx\_prj (Σημείωση: Την επόμενη φορά που θα μπορούμε στο σύστημα για να δημιουργήσουμε ένα νέο project, θα πρέπει να ορίσουμε ένα διαφορετικό όνομα).



**Εικόνα 24: Σωστό μονοπάτι για το νέο project.**

Ως αποτέλεσμα των παραπάνω θα δημιουργηθεί ένα σχεδιαστικό παράθυρο όπως φαίνεται στην εικόνα 25.

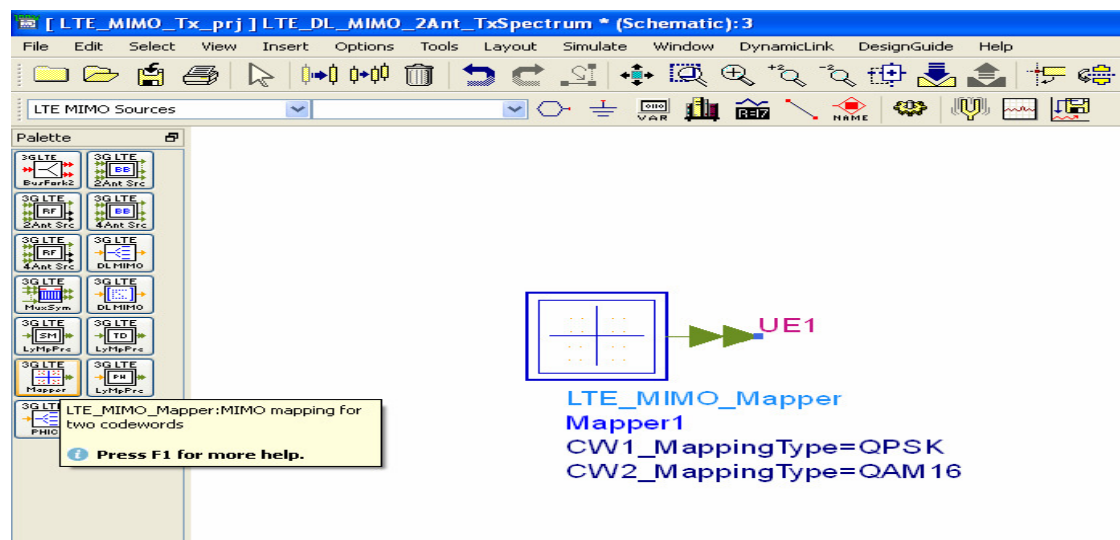


**Εικόνα 25: Σχεδιαστικό παράθυρο**

## 4.2 MIMO 2Ant Transmitter

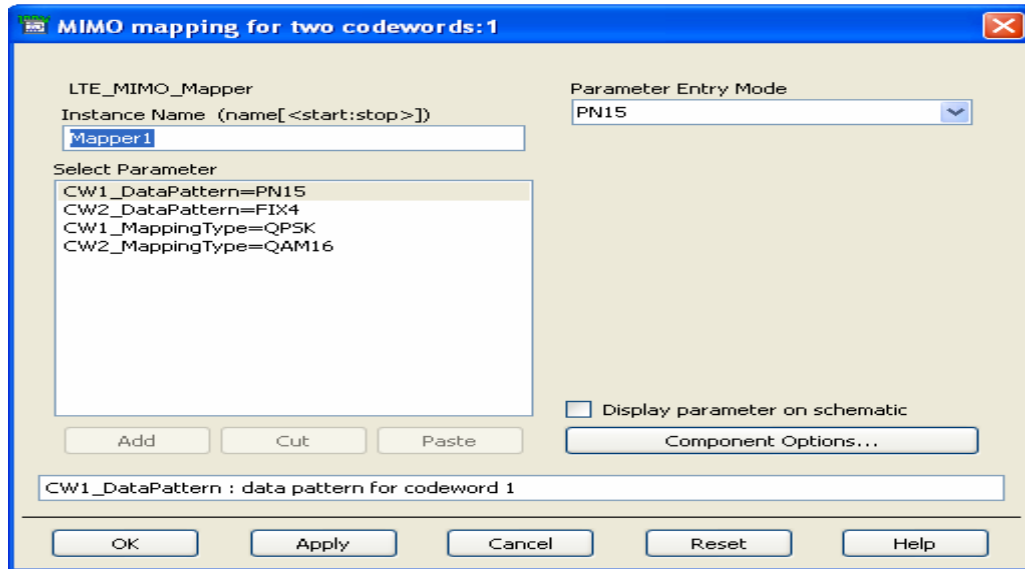
Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, θα μοντελοποιήσουμε το σενάριο MIMO 2Ant1 Transmitter. Θα εξετάσουμε την συνάρτηση κατανομής CCDF, το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και το μήκος κύματος.

Κάνουμε κλικ στο κουμπί Common Components για να δούμε τα διαθέσιμα στοιχεία. Μετακινούμε την μπάρα προς τα κάτω για να δούμε όλα τα διαθέσιμα στοιχεία. Μετακινώντας το ποντίκι σε κάθε μία από τις διαθέσιμες επιλογές στην παλέτα, εμφανίζεται το όνομα και τα χαρακτηριστικά του κάθε στοιχείου. Κάνουμε αριστερό κλικ στο LTE MIMO MAPPER και το σέρνουμε στην επιθυμητή θέση στο σχηματικό όπως φαίνεται στην εικόνα 26. Για να απελευθερωθεί στην επιθυμητή θέση, απλά κάνουμε αριστερό κλικ. Αν θέλουμε, μπορούμε να αλλάξουμε τον προσανατολισμό του στοιχείου κάνοντας δεξί κλικ επάνω στο στοιχείο και μετά rotate. Εάν σε οποιοδήποτε σημείο κάνουμε λάθος, απλά πατάμε το πλήκτρο Esc, και το επιλεγμένο στοιχείο θα εξαφανιστεί. Μόλις τελειώσουμε με αυτό το στοιχείο, πατάμε το πλήκτρο Esc για να απελευθερωθεί αυτό το στοιχείο.



Εικόνα 26: Τοποθέτηση στοιχείων στο σχεδιαστικό παράθυρο.

Για να επεξεργαστούμε τις ιδιότητες του στοιχείου LTE MIMO MAPPER, κάνουμε δεξί κλικ και επιλέγουμε την επιθυμητή επιλογή ή κάνοντας διπλό κλικ για λόγους ευκινησίας. Στην οθόνη μας θα εμφανιστεί η παρακάτω εικόνα 27.



**Εικόνα 27: Αλλαγή ιδιοτήτων στοιχείου.**

Τα επιπλέον στοιχεία που θα εισάγουμε στο σχηματικό καθώς και οι πίνακες με τις παραμέτρους περιγράφονται παρακάτω.

**LTE MIMO Mapper:** Το στοιχείο αυτό κάνει χαρτογράφηση δύο κωδικών λέξεων. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, ο χρήστης μπορεί να παραμετροποιήσει το σχέδιο δεδομένων και τον τύπο διαμόρφωσης για την κωδική λέξη. Η παραπάνω διαδικασία ακολουθείται για την τοποθέτηση και παραμετροποίηση των υπόλοιπων στοιχείων. Εισάγουμε συνολικά έξι LTE MIMO Mapper.

Name	Description	Default	Type
CW1_DataPattern	data pattern for codeword 1: PN9, PN15, FIX4, _4_1_4_0, _8_1_8_0, _16_1_16_0, _32_1_32_0, _64_1_64_0	PN9	enum
CW2_DataPattern	data pattern for codeword 2: PN9, PN15, FIX4, _4_1_4_0, _8_1_8_0, _16_1_16_0, _32_1_32_0, _64_1_64_0	PN9	enum
CW1_MappingType	modulation type for codeword 1: QPSK,	QPSK	enum



	QAM16, QAM64		
CW2_MappingType	modulation type for codeword 2: QPSK, QAM16, QAM64	QPSK	enum

### Πίνακας 2: Παράμετροι LTE MIMO Mapper

**LTE DL MIMO 2Ant Src RF:** Το στοιχείο αυτό δημιουργεί το σήμα του κεραιοσυστήματος 2x2 MIMO.

Name	Description	Default	Unit	Type	Range
ROut	Source resistance	DefaultROut	Ohm	int	(0,∞)
RTemp	TEMPERATURE	DefaultRTemp	Celsius	real	[-273.15,∞]
FCarrier	Carrier frequency	3407 MHz	Hz	real	(0,∞)
Power	Power at 2 transmit antennas	{ 0.01W, 0.01W }	W	real array	(0,∞)
GainImbalance	Gain imbalance in dB Q channel relative to I channel at 2 transmit antennas	{0.0, 0.0}		real array	(-∞,∞)
PhaseImbalance	Phase imbalance in dB Q channel relative to I channel at 2 transmit antennas	{0.0, 0.0}		real array	(-∞,∞)
FrameMode	frame mode: FDD, TDD	FDD		enum	
TDD_Config	uplink-downlink allocation for TDD: Config 0, Config 1, Config 2, Config 3, Config 4, Config 5, Config 6	Config 0		enum	
Bandwidth	bandwidth: BW 1.4 MHz, BW 3 MHz, BW 5 MHz, BW 10 MHz, BW 15 MHz, BW 20 MHz	BW 5 MHz		enum	
OversamplingOption	oversampling ratio option: Ratio 1, Ratio 2, Ratio 4, Ratio 8	Ratio 2		enum	
CyclicPrefix	type of cyclic prefix: Normal,	Normal		enum	

	Extended				
CellID_Sector	the index of cell identity within the physical-layer cell-identity group	0		int	[0,2]
CellID_Group	the index of cell identity group	0		int	[0,167]
SymPerSub_PDCCH	number of OFDM symbols of PDCCH for each subframe	{ 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3 }		int array	[1,3]
PHICH_Duration	type of PHICH duration which only affects subframes containing the maximum PDCCH Symbols case: Normal_Duration, Extended_Duration	Normal_Duration		enum	
PHICH_Ng	PHICH Ng: Ng 1/6, Ng 1/2, Ng 1, Ng 2	Ng 1/6		enum	
UE_MIMO_Mode	MIMO Mode for each UE, 1 for TD, 0 for SM	{ 0, 0, 0, 0, 0, 0 }		int array	[0,1]
UE_CDD_Mode	CDD Mode, 1 for Zero-Delay, 0 for Large-Delay	{ 0, 0, 0, 0, 0, 0 }		int array	[0,1]
UE_CdBk_Index	UE codebook index for precoding	{0, 0, 0, 0, 0, 0}		int array	[0, 15]
UE_NumOfLayers	Number of layers for each UE	{ 2, 2, 2, 2, 2, 2 }		int array	[1,4]
UE1_PRB_Bitmap	PRB bitmaps for UE 1	{ 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 }		int array	[0,1]
UE2_PRB_Bitmap	PRB bitmaps for UE 2	{ 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 }		int array	[0,1]
UE3_PRB_Bitmap	PRB bitmaps for UE 3	{ 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 }		int array	[0,1]
UE4_PRB_Bitmap	PRB bitmaps for UE 4	{ 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 }		int array	[0,1]

		0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0}			
UE5_PRB_Bitmap	PRB bitmaps for UE 5	{ 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0}		int array	[0,1]
UE6_PRB_Bitmap	PRB bitmaps for UE 6	{ 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0}		int array	[0,1]
PowerBoosting	power boosting of each UE data in dB	{0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0}		real array	(-∞,∞)
IdleInterval	idle interval between two consecutive radio frames	0.0	sec	real	[0,1.0ms]
SpectrumShapingType	spectrum-shaping type: TimeWindowing, FIRFilter	FIRFilter		enum	
FilterType	spectrum-shaping FIR filter type: Square-Root Raised Cosine, Ideal Lowpass	Square-Root Raised Cosine		enum	
Taps	number of FIR filter taps	19		int	[1,1000]
FIRwithInterp	spectrum-shaping FIR filter with interpolation operation?: NO, YES	NO		enum	
Alpha	roll-off factor for root raised-cosine filter	0.22		real	[0,1.0]
WindowType	type of time transition windowing between two consecutive symbols: Tukey, Raised cosine	Tukey		enum	
CyclicInterval	the overlapped cyclic interval between two adjacent SC-FDMA symbols in unit of chips (without	6		int	[0,96]

	oversampling)				
PDCCH_Factor	scale factor of PDCCH	1.0		real	(0.0, $\infty$ )
PCFICH_Factor	scale factor of PCFICH	1.0		real	( 0.0, $+\infty$ )
PHICH_Factor	scale factor of PHICH	1.0		real	( 0.0, $+\infty$ )
PSCH_Factor	scale factor of P-SCH	1.077632		real	(0.0, $\infty$ )
SSCH_Factor	scale factor of S-SCH	1.077632		real	(0.0, $\infty$ )
BCH_Factor	scale factor of BCH	1.0		real	(0.0, $\infty$ )
RS_Factor	scale factor of reference symbol	1.0		real	(0.0, $\infty$ )

**Πίνακας 3: Παράμετροι LTE DL MIMO 2Ant Src RF**

**Numeric Data Sink:** Το στοιχείο αυτό συλλέγει δεδομένα από την έξοδο της συσκευής όπου είναι συνδεδεμένο και τα αποθηκεύει σε ένα σύνολο δεδομένων προσομοίωσης. Όταν το συνδεδεμένο στοιχείο είναι ένα αριθμητικό στοιχείο, τα συλλεγόμενα δεδομένα είναι υπό την μορφή ακέραιου, πραγματικού, ή μιγαδικές τιμές δεδομένων έναντι μιας ακέραιας τιμής δείκτη. Εισάγουμε δύο τέτοια στοιχεία στο σχηματικό μας.

Name	Description	Default	Type	Range
Plot	If simulation is setup to open data display after simulation and if Plot is not set to 'None', then plot the data for this sink: None, Rectangular	None	enum	
Start	Sample number to start collecting data. DefaultNumericStart will inherit from the DF controller.	DefaultNumericStart	int	[0, $\infty$ )
Stop	Sample number to stop collecting data. DefaultNumericStop will inherit from the DF controller.	DefaultNumericStop	int	[Start, $\infty$ )
ControlSimulation	If set to YES, 'Stop' sample number determines how long the simulation will run:	YES	enum	

	NO, YES		
--	---------	--	--

#### Πίνακας 4: Παράμετροι Numeric Data Sink

**Timed Data Collector:** Το στοιχείο αυτό συλλέγει χρονικά (baseband ή complex envelope) δεδομένα από την έξοδο με την οποία είναι συνδεδεμένο και τα αποθηκεύει σε ένα σύνολο δεδομένων προσομοίωσης. Η ζώνη δεδομένων μετρίεται με τη μορφή πραγματικών τιμών τάσης συναρτήσεως του χρόνου ενώ τα complex envelope υπό την μορφή μιγαδικών τιμών τάσεως συναρτήσεως του χρόνου. Εισάγουμε δύο τέτοια στοιχεία στο σχηματικό μας.

Name	Description	Default	Unit	Type	Range
Plot	If simulation is setup to open data display after simulation and if Plot is not set to 'None', then plot the data for this sink: None, Rectangular	None		enum	
RLoad	Load resistance. DefaultRLoad will inherit from the DF controller.	DefaultRLoad	Ohm	real	(0, ∞)
RTemp	Resistor physical temperature, in degrees C. DefaultRTemp will inherit from the DF controller.	DefaultRTemp	Celsius	real	[-273.15, ∞)
Start	Start time for data recording. DefaultTimeStart will inherit from the DF Controller.	DefaultTimeStart	sec	real	[0, ∞)
Stop	Stop time for data recording. DefaultTimeStop will inherit from the DF Controller.	DefaultTimeStop	sec	real	[Start, ∞)

ControlSimulation	if set to YES, 'Stop' time determines how long the simulation will run: NO, YES	YES		enum	
-------------------	---	-----	--	------	--

**Πίνακας 5: Παράμετροι Timed Data Collector**

**Spectrum analyzer:** Ο SpectrumAnalyzerResBW μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση του φάσματος βασικής ζώνης ή ενός σήματος RF. Εισάγουμε δύο τέτοια στοιχεία στο σχηματικό μας.

Name	Description	Default	Unit	Type	Range
Plot	If simulation is setup to open data display after simulation and if Plot is not set to 'None', then plot the data for this sink: None, Rectangular	None		enum	
RLoad	Load resistance. DefaultRLoad will inherit from the DF controller.	DefaultRLoad	Ohm	real	(0, ∞)
RTemp	Resistor physical temperature, in degrees C. DefaultRTemp will inherit from the DF controller.	DefaultRTemp	Celsius	real	[-273.15, ∞)
Start	Start time for data recording. DefaultTimeStart will inherit from the DF Controller.	DefaultTimeStart	sec	real	[0, ∞)
Stop	Stop time for data recording. DefaultTimeStop will inherit from the DF Controller.	DefaultTimeStop	sec	real	[Start, ∞)
Window	Window with default constant applied to collected data (default constant is	none		enum	

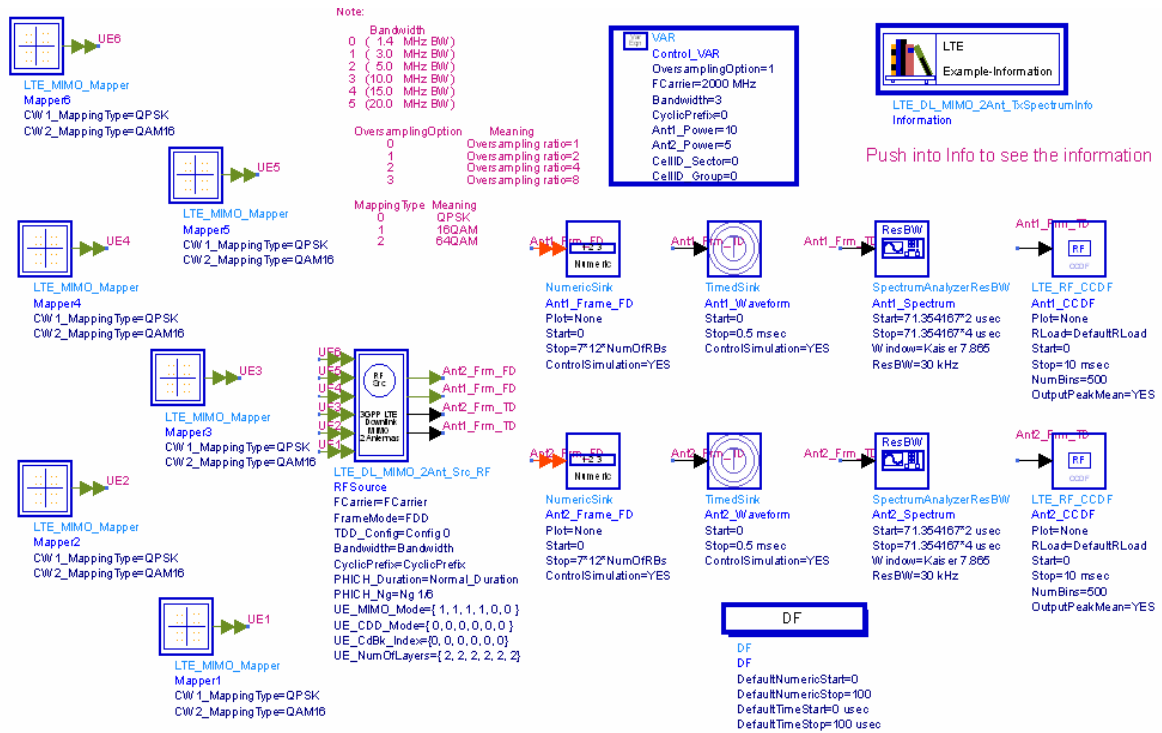
	used when WindowConstant is 0.0): none, Hamming 0.54, Hanning 0.50, Gaussian 0.75, Kaiser 7.865, _8510 6.0, Blackman, Blackman-Harris				
ResBW	Resolution bandwidth	30 kHz	Hz	real	[0, ∞)
NumSegments	Number of segments	0		int	[0, ∞)
SegmentTime	Segment time	1.0 msec	sec	real	(0, ∞)

**Πίνακας 6: Παράμετροι Spectrum analyzer**

**DF:** Το στοιχείο DF (ροή δεδομένων) είναι ο ελεγκτής και απαιτείται για όλες τις προσομοιώσεις. Χρησιμοποιείτε για να ελέγχει τη ροή των μικτών αριθμητικά και χρονικών σημάτων για όλες τις ψηφιακές προσομοιώσεις επεξεργασίας σήματος στο ADS. Αυτός ο ελεγκτής, μαζί με την πηγή και τα άλλα στοιχεία, παρέχουν την ευελιξία για τον έλεγχο κατά την διάρκεια της προσομοίωσης διαδικτυακά ή τοπικά.

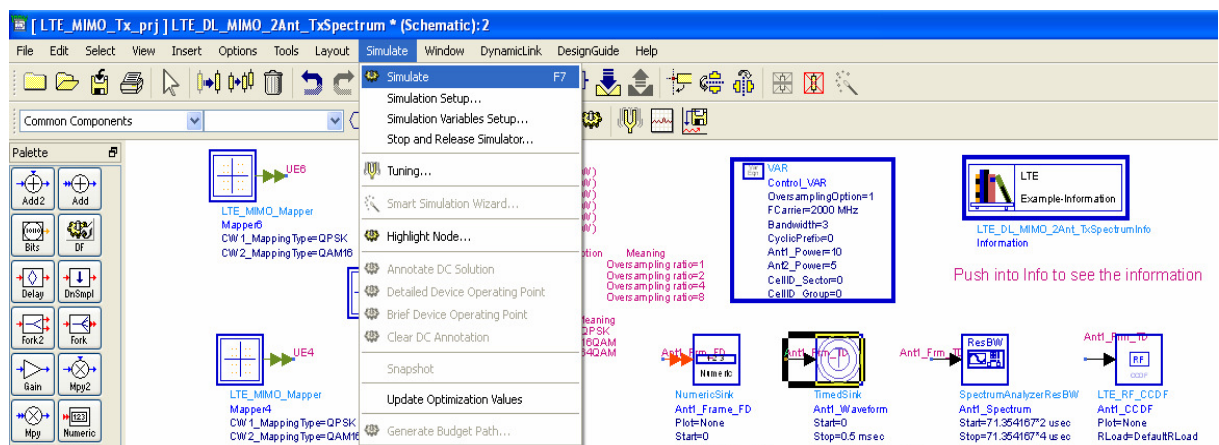
**CCDF measurement:** Το στοιχείο αυτό καταγράφει την συμπληρωματική αθροιστική συνάρτηση κατανομής. Το πόσο τοις εκατό ακτινοβολούν οι κεραίες. Εισάγουμε δύο τέτοια στοιχεία στο σχηματικό μας. Περαιτέρω ανάλυση των καμπυλών CCDF γίνεται στην παρακάτω παράγραφο 4.2.1.

Το επόμενο βήμα είναι η σύνδεση των στοιχείων στο σχηματικό. Για την σύνδεση των στοιχείων επιλέγουμε το NAME στο toolbar και δίνουμε ένα όνομα στο wire. Δύο wires που έχουν το ίδιο όνομα συνδέονται. Η εικόνα 28 δείχνει ολοκληρωμένο το σενάριο. Τώρα είμαστε έτοιμοι για τις προσομοιώσεις.



Εικόνα 28: Τελική μορφή σεναρίου

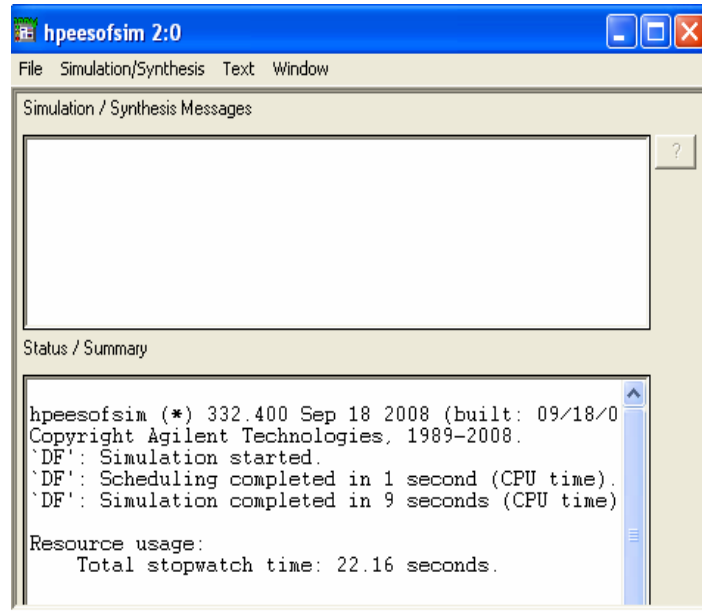
Για την εκτέλεση της προσομοίωσης κάνουμε αριστερό κλικ στο simulate, όπως φαίνεται στην εικόνα 29.



Εικόνα 29: Επιλογή προσομοίωσης

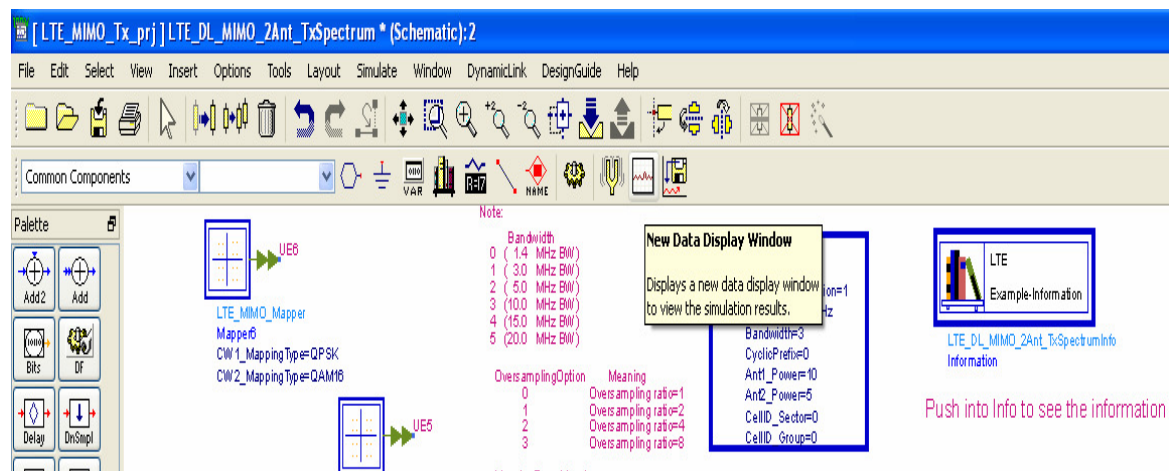


Το σύστημα θα ανταποκριθεί δημιουργώντας ένα παράθυρο hpeesofsim με τα πιθανά σφάλματα, εάν βέβαια υπάρχουν, καθώς και τη χρονική διάρκεια της προσομοίωσης, όπως φαίνεται στην εικόνα 30.



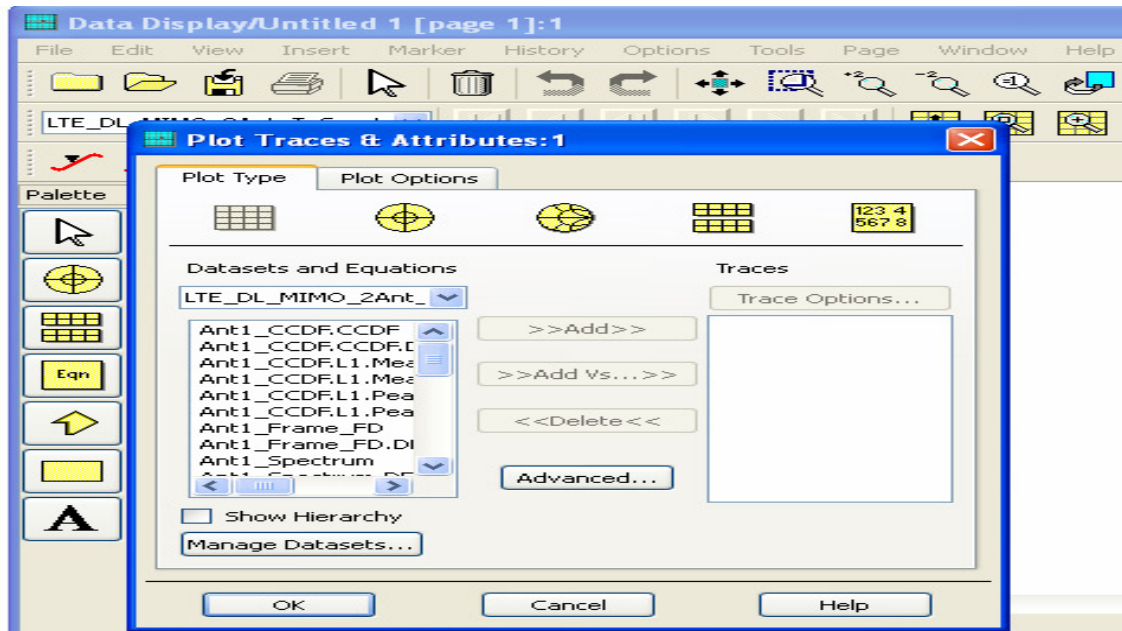
**Εικόνα 30: Παράθυρο Hpeesofsim**

Για να αποκτήσουμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, κάνουμε κλικ στο εικονίδιο New Data Display Window, όπως φαίνεται στην εικόνα 31.



**Εικόνα 31: New Data Display Window**

Το παράθυρο προβολής δεδομένων επιτρέπει στο χρήστη διάφορες επιλογές σχεδίασης. Στην περίπτωση μας, θα επιλέξουμε ορθογώνια σχήματα. Εάν κάνουμε αριστερό κλικ στο εικονίδιο με το ορθογώνιο σχήμα, το σύστημα θα δημιουργήσει το παράθυρο που φαίνεται στην εικόνα 32.



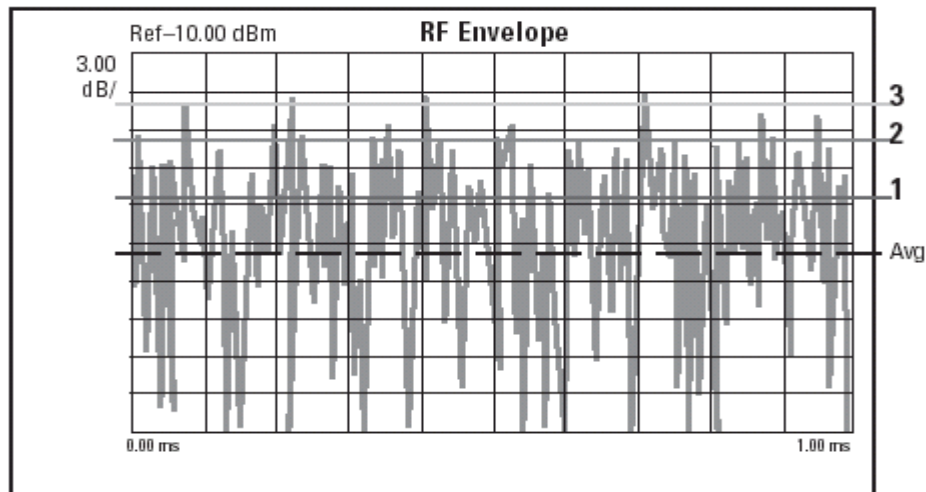
**Εικόνα 32: Data Display Window options.**

Επιλέγουμε από την λίστα αυτό που ζητάμε και κάνουμε κλικ στο Add και μετά Ok. Το σύστημα θα ανταποκριθεί παρουσιάζοντας τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για την συγκεκριμένη επιλογή. Επιλέγουμε ένα άλλο ορθογώνιο σχήμα από το παράθυρο Display Data και επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία για κάποια άλλη μέτρηση. Βέβαια στο ADS μπορούν να γίνουν πολύ πιο σύνθετες εργασίες, προσομοιώσεις και αναλύσεις.

#### **4.2.1 Κατανόηση καμπυλών CCDF**

Για την καλύτερη κατανόηση των καμπυλών CCDF, θα αναφερθούμε σε ένα παράδειγμα όπου χρησιμοποιείται ένα σήμα cdmaOne. Η εικόνα 33 δείχνει το διάγραμμα ισχύος συναρτήσεως του χρόνου ενός σήματος cdmaOne. Αυτό το διάγραμμα παριστάνει τη στιγμιαία ισχύ του σήματος η οποία ορίζεται από την

εξίσωση:  $Power = I^2 + Q^2$ , όπου I και Q είναι οι ορθογώνιες συνιστώσες της κυματομορφής.



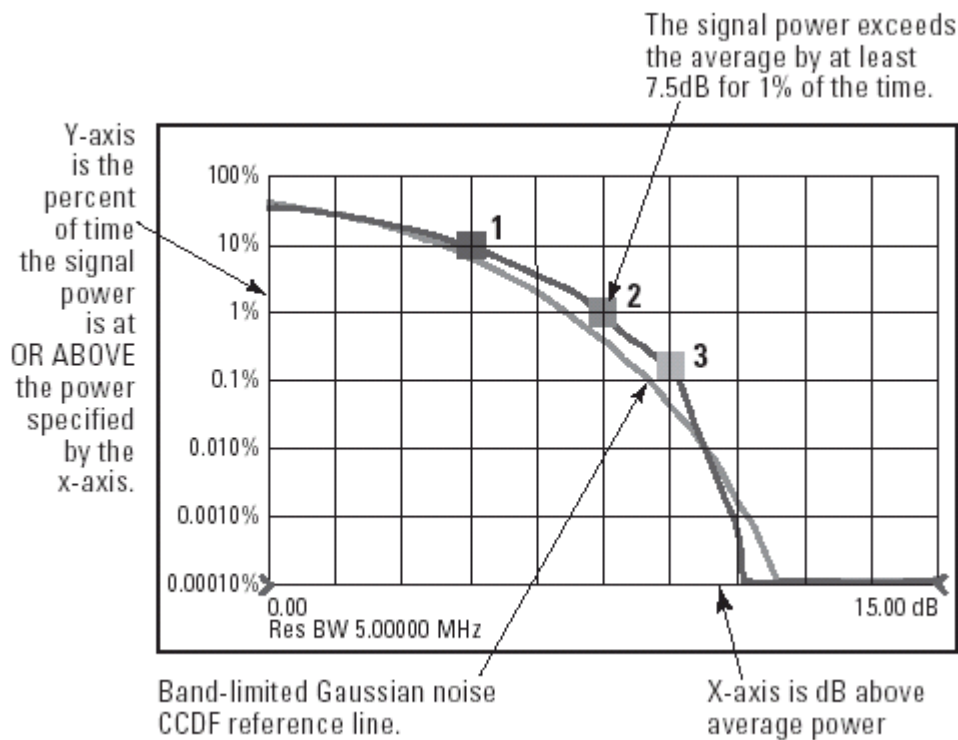
**Εικόνα 33: Διάγραμμα ισχύος συναρτήσει του χρόνου**

Δυστυχώς, το σήμα με τη μορφή που φαίνεται στην εικόνα είναι δύσκολο να μετρηθεί λόγω της εγγενούς τυχαιότητας και ασυνέπειας του. Προκειμένου όμως να εξάγουμε χρήσιμες πληροφορίες από αυτό το θόρυβο που μοιάζει με σήμα, χρειαζόμαστε μια στατιστική περιγραφή των επιπέδων ενέργειας καθώς και μια συμπληρωματική αθροιστική συνάρτηση κατανομής (CCDF) καμπύλης που να παρέχει ακριβώς αυτό.

Μια καμπύλη CCDF δείχνει πόσο χρόνο έχει το σήμα ισχύ πάνω από ένα συγκεκριμένο επίπεδο. Το επίπεδο ισχύος εκφράζεται σε dB σε σχέση με τη μέση ισχύ. Για παράδειγμα, κάθε μία από τις γραμμές κατά μήκος της κυματομορφής που φαίνεται στην εικόνα παριστάνει ένα συγκεκριμένο επίπεδο ισχύος πάνω από το μέσο όρο. Το ποσοστό του χρόνου όπου το σήμα περνά πάνω από κάθε γραμμή ορίζει την πιθανότητα για το συγκεκριμένο επίπεδο ισχύος. Μία καμπύλη CCDF είναι ένα γράφημα αναφορικά με το επίπεδο ισχύος συναρτήσει της πιθανότητας.

Η εικόνα 34 εμφανίζει την καμπύλη CCDF ενός λαμβανόμενου σήματος cdmaOne. Εδώ, ο άξονας x αναπαριστάται σε dB πάνω από την μέση ισχύ του σήματος, το οποίο σημαίνει ότι μετράμε την πραγματική κορυφή προς την μέση αναλογία σε αντίθεση με το απόλυτο επίπεδο ισχύος. Ο άξονας y είναι το ποσοστό του χρόνου όπου το σήμα περνά πάνω από το επίπεδο ισχύος που καθορίζεται από τον άξονα x. Για παράδειγμα, σε  $t = 1\%$  επί του άξονα y, η αντίστοιχη κορυφή προς

την μέση αναλογία είναι 7.5 dB στον άξονα x. Αυτό σημαίνει ότι η ισχύς του σήματος υπερβαίνει το μέσο όρο τουλάχιστον κατά 7.5 dB για το 1% του χρόνου. Η θέση της καμπύλης CCDF δείχνει το βαθμό της κορυφής προς τη μέση απόκλιση, με την πιο έντονη καμπύλη να είναι πιο δεξιά.

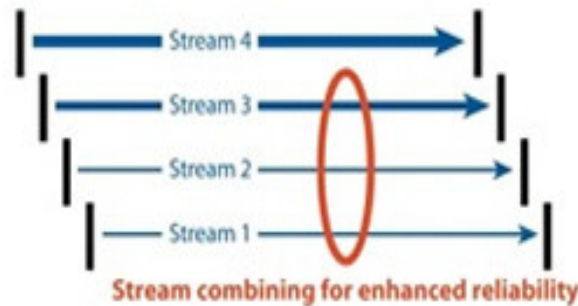


**Εικόνα 34: Καμπύλη CCDF**

### 4.3 MIMO 4Ant Transmitter

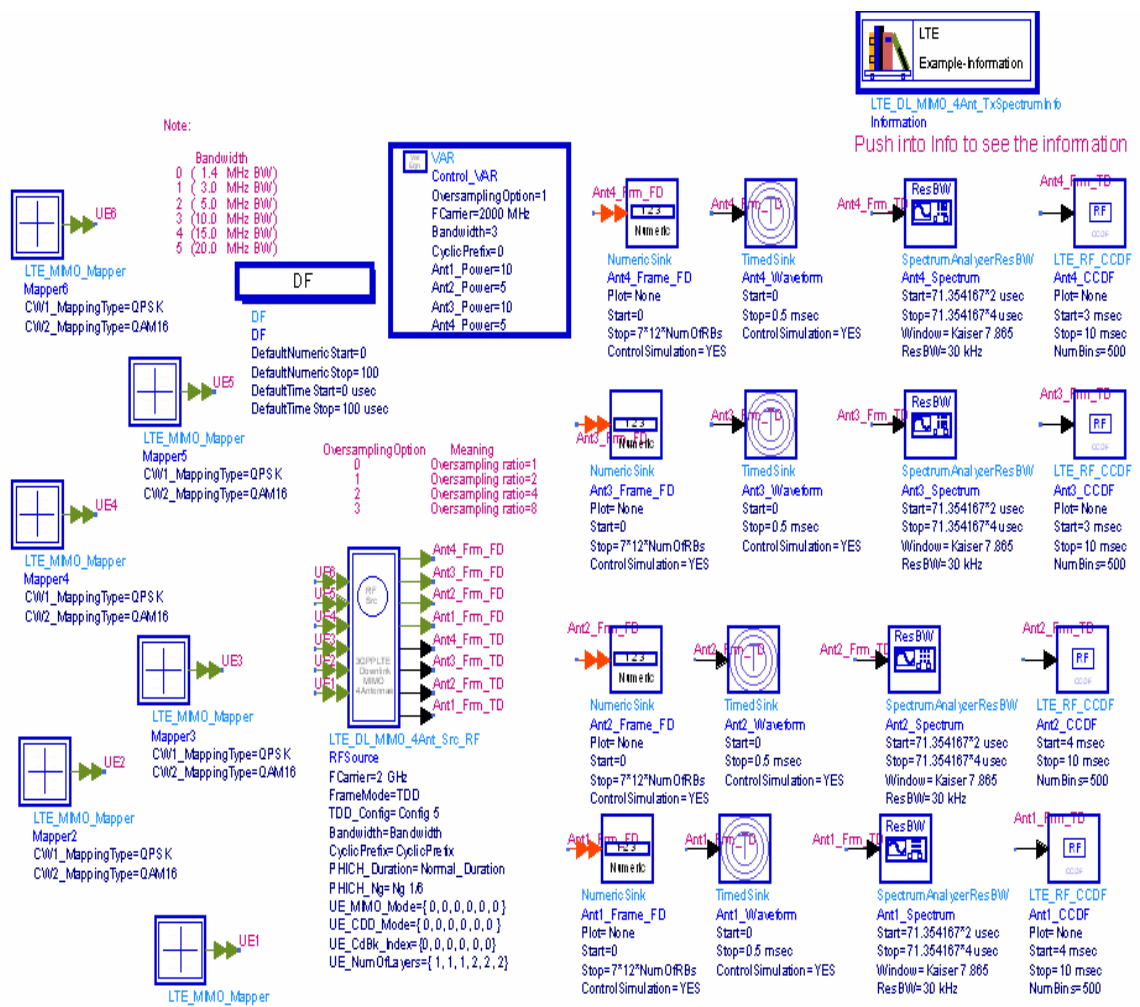
Τα συστήματα με πολλαπλές κεραιές στον πομπό και το δέκτη προσφέρουν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, καλύπτουν μεγάλες αποστάσεις και είναι αξιόπιστα χωρίς να απαιτείται επιπλέον εύρος ζώνης ή ισχύς εκπομπής. Με τη χρήση πολλών κεραιών τόσο στο πομπό όσο και στο δέκτη, δημιουργούνται πολλαπλά ανεξάρτητα κανάλια για την αποστολή πολλαπλών ροών δεδομένων. Ο αριθμός των ανεξάρτητων καναλιών και συνεχών ρευμάτων δεδομένων που μπορεί να υποστηριχθεί μέσω ενός καναλιού MIMO είναι ισοδύναμος με τον ελάχιστο αριθμό των κεραιών στον πομπό

ή τον δέκτη. Έτσι, ένα 2x2 σύστημα μπορεί να υποστηρίξει το πολύ δύο ρεύματα, ένα 3x3 σύστημα μπορεί να υποστηρίξει τρία ρεύματα και ένα σύστημα 4x4 μπορεί να υποστηρίξει τέσσερις κατηγορίες ρευμάτων, όπως φαίνεται στην εικόνα 35. Μερικά από τα ανεξάρτητα ρεύματα μπορούν να συνδυαστούν μέσω δυναμικών ψηφιακών beamforming και MIMO επεξεργασίας δέκτη, όπως φαίνεται στον κόκκινο κύκλο, η οποία οδηγεί σε αυξημένη αξιοπιστία και εύρος. Ένα πλήρης 4x4 σύστημα MIMO με δυναμική ψηφιακή beamforming και δέκτη MIMO επεξεργασίας υποστηρίζει δύο μέγιστοι ρυθμοί ροών δεδομένων στο 99 τοις εκατό του χρόνου. Άλλες διαμορφώσεις, όπως 2x2 και 3x3 MIMO είναι λιγότερο αξιόπιστες, επειδή έχουν λιγότερες κεραίες και συνεπώς λιγότερες πρόσθετες χωρικές διαστάσεις που μπορούν να συνδυαστούν.



**Εικόνα 35: Σύστημα MIMO 4x4**

Στο παράδειγμα αυτό θα μοντελοποιήσουμε το σενάριο MIMO 4Ant Transmitter, ακολουθώντας τα ίδια βήματα με το προηγούμενο σενάριο, προσθέτοντας βέβαια τα απαραίτητα στοιχεία που απαιτούνται για το νέο σενάριο. Αφού σχεδιάσουμε λοιπόν το νέο μας σενάριο το οποίο φαίνεται στην εικόνα 36 θα προχωρήσουμε στην εκτέλεση της προσομοίωσης, ακολουθώντας πάλι τα ίδια βήματα με το προηγούμενο. Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται σε αυτό το σενάριο ακολουθούν τις ίδιες παραμέτρους με το σενάριο MIMO 2Ant Transmitter.



Εικόνα 36: Τελική μορφή σεναρίου

Τα στοιχεία που εισάγουμε στο σχηματικό για να σχεδιάσουμε αυτό το σενάριο είναι τα εξής: Έξι LTE MIMO Mapper, ένα LTE DL MIMO 4Ant Src RF, τέσσερα Numeric Data Sink, τέσσερα Timed Data Collector, τέσσερα Spectrum analyzer, τέσσερα CCDF measurement και το DF. Και σε αυτό το σενάριο θα κάνουμε τις ίδιες μετρήσεις με το προηγούμενο, θα εξετάσουμε δηλαδή, την συνάρτηση κατανομής CCDF, το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και το μήκος κύματος.

## 4.4 MIMO DOWNLINK RECEIVER

Στο project αυτό θα δούμε παραδείγματα σχεδιασμού δέκτη για το 3GPP LTE downlink σύστημα FDD. Οι περιπτώσεις που θα αναλύσουμε αφορούν μετρήσεις BER με κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση με λευκό θόρυβο και fading του καναλιού downlink FDD, καθώς και μετρήσεις χωρίς κωδικοποίηση.

### 4.4.1 Λευκός γκαουσιανός θόρυβος (AWGN)

Ο λευκός θόρυβος αποτελεί μια ιδανική μορφή θορύβου, η πυκνότητα φάσματος του οποίου είναι ανεξάρτητη από τη συχνότητα. Το φάσμα του λευκού θορύβου έχει την ίδια σταθερή τιμή για όλες τις συχνότητες (flat spectrum). Ο θόρυβος χαρακτηρίζεται «λευκός» ακριβώς επειδή περιέχει συνιστώσες από όλες τις συχνότητες, όπως ακριβώς και το λευκό φως που περιέχει ίσες ποσότητες από όλες τις συχνότητες της ζώνης της ορατής ακτινοβολίας.

Η χρησιμότητα του λευκού θορύβου έγκειται κατά κύριο λόγο στο γεγονός ότι περιέχει ήχους όλων των συχνοτήτων. Η ιδιότητά του αυτή βρίσκει ένα μεγάλο αριθμό εφαρμογών.

Ο λευκός θόρυβος αποτελεί εργαλείο ελέγχου της απόκρισης συχνότητας ηχείων, ενισχυτών και φίλτρων. Τροφοδοτώντας στην είσοδο των στοιχείων αυτών ένα σήμα το οποίο περιέχει όλες τις συχνότητες και παρατηρώντας την έξοδο, είναι δυνατό να καθοριστεί για ποιες συχνότητες τα στοιχεία έχουν την καλύτερη απόδοση. Επίσης, λευκός θόρυβος χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της απόδοσης τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, αφού πάντα σε ένα πραγματικό μεταδιδόμενο σήμα υπερτίθεται και κάποιο σήμα θορύβου.

Στο παράδειγμα αυτό θα κάνουμε μετρήσεις BER στο κανάλι downlink με κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση με λευκό θόρυβο. Τα στοιχεία που θα εισάγουμε στο σχηματικό καθώς και οι παράμετροι αυτών περιγράφονται παρακάτω και χρησιμοποιούνται και για τις άλλες δυο περιπτώσεις Fading και Ray.

**DataPattern:** Το στοιχείο αυτό χρησιμοποιείται για να παράγει ένα από τα οκτώ bit streams. Εισάγουμε έξι από αυτά τα στοιχεία στο σχηματικό μας.

Name	Description	Default	Unit	Type	Range
DataPattern	Data pattern: PN9,PN15,FIX4,_4_1_4_0,_8_1_8_0,_16_1_16_0,_32_1_32_0,_64_1_64_0	PN9		enum	

**Πίνακας 7: Παράμετροι DataPattern**

**Mapped:** Το στοιχείο αυτό λαμβάνει δυαδικά ψηφία, 0 ή 1 στην είσοδο και παράγει μιγαδικά σύμβολα διαμόρφωσης στην έξοδο. Όταν το MappingType ισούται με 0 τότε χρησιμοποιείται η χαρτογράφηση QPSK. Όταν ισούται με 1 χρησιμοποιείται η 16QAM και όταν ισούται με 2 χρησιμοποιείται η 64QAM. Εισάγουμε πέντε από αυτά τα στοιχεία στο σχηματικό μας.

Name	Description	Default	Type
MappingType	modulation type: QPSK, QAM16, QAM64	QPSK	enum

**Πίνακας 8: Παράμετροι Mapped**

**LTE channel coder:** Είναι κανάλι κωδικοποίησης για Downlink και Uplink.

Name	Description	Default	Type	Range
LinkDir	link direction: Downlink, Uplink	Uplink	enum	
TransBlockSize	Transport block size	{ 6016, 6016, 6016, 6016, 6016, 6016, 6016, 6016 }	int array	[1,max transport block size]†
CRC_Length	Number of parity bits: CRC_24A, CRC_24B, CRC_16	CRC_24A	enum	
CodewordLength	Code Word Length	{ 18000, 18000, 18000, 18000, 18000, 18000 }	int array	[1, +∞]



RV_Idx	Redundancy Version Index	0	int	[0, 3]
NIR	Redundancy Version Index	9600	int	[1, +∞]
CellID_Sector	the index of cell identity within the physical-layer cell-identity group	0	int	[0,2]
CellID_Group	the index of cell identity group	0	int	[0,167]
n_RNTI	Radio network temporary identifier	0	int	[0, 2e16-1]
q	Code word number	0	int	[0, 1]
MappingType	modulation type: QPSK, QAM16, QAM64	QPSK	enum	
NumOfLayers	Number of layers	2	int	[1,4]

**Πίνακας 9: Παράμετροι LTE channel coder**

**Downlink signal source with RF modulator:** Το στοιχείο αυτό δημιουργεί σήμα για περισσότερους από έξι χρήστες.

Name	Description	Default	Unit	Type	Range
ROut	source resistance	50 Ohm	Ohm	int	(0,∞)
RTemp	temperature	- 273.15	Celsius	real	[-273.15,∞]
FCarrier	carrier frequency	2500 MHz	Hz	real	(0,∞)
Power	power	0.01 W	W	real	(0,∞)
MirrorSpectrum	indication of mirror spectrum about carrier: NO, YES	NO		enum	
GainImbalance	gain imbalance in dB Q channel relative to I channel	0.0		real	(-∞,∞)
PhaseImbalance	phase imbalance in dB Q channel relative to I channel	0.0		real	(-∞,∞)
I_OriginOffset	I origin offset in percent with	0.0		real	(-∞,∞)

	repect to output rms voltage				
Q_OriginOffset	q origin offset in percent with repect to output rms voltage	0.0		real	$(-\infty, \infty)$
IQ_Rotation	IQ rotation in degrees	0.0		real	$(-\infty, \infty)$
FrameMode	frame mode: FDD, TDD	FDD		enum	
TDD_Config	downlink and uplink allocations for TDD: Config 0, Config 1, Config 2, Config 3, Config 4, Config 5, Config 6	Config 0		enum	
Bandwidth	bandwidth: BW 1.4 MHz, BW 3 MHz, BW 5 MHz, BW 10 MHz, BW 15 MHz, BW 20 MHz	BW 5 MHz		enum	
OversamplingOption	oversampling ratio option: Ratio 1, Ratio 2, Ratio 4, Ratio 8	Ratio 2		enum	
CyclicPrefix	type of cyclic prefix: Normal, Extended	Normal		enum	
CellID_Sector	the index of cell identity within the physical-layer cell-identity group	0		int	[0,2]
CellID_Group	the index of cell identity group	0		int	[0,167]
SymPerSub_PDCCH	number of OFDM symbols of PDCCH for each subframe	{ 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3 }		int array	[1,3]
PHICH_Duration	type of PHICH duration which only affects subframes containing the maximum PDCCH Symbols case: Normal_Duration, Extended_Duration	Normal_Duration		enum	
PHICH_Ng	PHICH Ng: Ng 1/6, Ng 1/2, Ng 1, Ng 2	Ng 1/6		enum	

UE1_PRB_Bitmap	PRB bitmaps for UE 1	{ 1, 1 }		int array	[0,1]
UE2_PRB_Bitmap	PRB bitmaps for UE 2	{ 0, 0 }		int array	[0,1]
UE3_PRB_Bitmap	PRB bitmaps for UE 3	{ 0, 0 }		int array	[0,1]
UE4_PRB_Bitmap	PRB bitmaps for UE 4	{ 0, 0 }		int array	[0,1]
UE5_PRB_Bitmap	PRB bitmaps for UE 5	{ 0, 0 }		int array	[0,1]
UE6_PRB_Bitmap	PRB bitmaps for UE 6	{ 0, 0 }		int array	[0,1]
PowerBoosting	power boosting of each UE data in dB	{ 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0 }		real array	$(-\infty, \infty)$
IdleInterval	idle interval between two consecutive radio frames	0.0	sec	real	[0,1.0ms]
SpectrumShapingType	spectrum-shaping type: TimeWindowing, FIRFilter	FIRFilter		enum	
FilterType	spectrum-shaping FIR filter type: Square-Root Raised Cosine, Ideal Lowpass	Square-Root Raised Cosine		enum	
Taps	number of FIR filter taps	19		int	[1,1000]
FIRwithInterp	spectrum-shaping FIR filter with interpolation	NO		enum	

	operation?: NO, YES				
Alpha	roll-off factor for root raised-cosine filter	0.22		real	[0,1.0]
WindowType	type of time transition windowing between two consecutive symbols: Tukey, Raised cosine	Tukey		enum	
CyclicInterval	the overlapped cyclic interval between two adjacent SC-FDMA symbols in unit of chips (without oversampling)	6		int	[0,96]
PDCCH_Factor	scale factor of PDCCH	1.0		real	(0.0, $\infty$ )
PCFICH_Factor	scale factor of PCFICH	1.0		real	( 0.0, $+\infty$ )
PHICH_Factor	scale factor of PHICH	1.0		real	( 0.0, $+\infty$ )
PSCH_Factor	scale factor of P-SCH	1.077632		real	(0.0, $\infty$ )
SSCH_Factor	scale factor of S-SCH	1.077632		real	(0.0, $\infty$ )
BCH_Factor	scale factor of BCH	1.0		real	(0.0, $\infty$ )
RS_Factor	scale factor of reference symbol	1.0		real	(0.0, $\infty$ )

**Πίνακας 10: Παράμετροι Downlink signal source with RF modulator**

**AWGN:** Το στοιχείο αυτό προσθέτει στο σύστημα εισόδου Λευκό Γκαουσιανό Θόρυβο καθορισμένης πυκνότητας.

Name	Description	Default	Unit	Type	Range
RIn	input resistance	DefaultRIn	Ohm	real	(0, $\infty$ )
ROut	output resistance	DefaultROut	Ohm	real	(0, $\infty$ )
NDensity	noise spectral density at output, in dBm/Hz	-173.975		real	( $-\infty$ , $\infty$ )

**Πίνακας 11: Παράμετροι AWGN**

**Downlink receiver with RF de-modulator:** Στο στοιχείο αυτό ολοκληρώνεται η downlink ζεύξη.

Name	Description	Default	Unit	Type	Range
RIn	source resistance	50 Ohm	Ohm	int	(0,∞)
RTemp	temperature	- 273.15	Celsius	real	[-273.15,∞]
RefFreq	internal reference frequency	2500 MHz	Hz	real	(0,∞)
Sensitivity	voltage output sensitivity, Vout/Vin	1		real	(-∞,∞)
Phase	Reference phase in degrees	0.0	deg	real	(-∞,∞)
GainImbalance	gain imbalance in dB Q channel relative to I channel	0.0		real	(-∞,∞)
PhaseImbalance	phase imbalance in dB Q channel relative to I channel	0.0		real	(-∞,∞)
FrameMode	frame mode: FDD, TDD	FDD		enum	
TDD_Config	downlink and uplink allocations for TDD: Config 0, Config 1, Config 2, Config 3, Config 4, Config 5, Config 6	Config 0		enum	
Bandwidth	bandwidth: BW 1.4 MHz, BW 3 MHz, BW 5 MHz, BW 10 MHz, BW 15 MHz, BW 20 MHz	BW 5 MHz		enum	
OversamplingOption	oversampling ratio option: Ratio 1, Ratio 2, Ratio 4, Ratio 8	Ratio 2		enum	
CyclicPrefix	type of cyclic prefix: Normal, Extended	Normal		enum	
CellID_Sector	the index of cell identity within the physical-layer cell-identity group	0		int	[0,2]

CellID_Group	the index of cell identity group	0		int	[0,167]
SymPerSub_PDCCH	number of OFDM symbols of PDCCH for each subframe	{ 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3 }		int array	[1,3]
PHICH_Duration	type of PHICH duration which only affects subframes containing the maximum PDCCH Symbols case: Normal_Duration, Extended_Duration	Normal_Duration		enum	
PHICH_Ng	PHICH Ng: Ng 1/6, Ng 1/2, Ng 1, Ng 2	Ng 1/6		enum	
UE1_PRB_Bitmap	PRB bitmaps for UE 1	{ 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 }		int array	[0,1]
UE2_PRB_Bitmap	PRB bitmaps for UE 2	{ 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 }		int array	[0,1]
UE3_PRB_Bitmap	PRB bitmaps for UE 3	{ 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 }		int array	[0,1]
UE4_PRB_Bitmap	PRB bitmaps for UE 4	{ 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 }		int array	[0,1]
UE5_PRB_Bitmap	PRB bitmaps for UE 5	{ 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 }		int array	[0,1]
UE6_PRB_Bitmap	PRB bitmaps for UE 6	{ 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 }		int array	[0,1]
PowerBoosting	power boosting of each UE data in dB	{ 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0 }		real array	(-∞,∞)
PreDownsampling	pre-downsampling to 1X symbol rate	NO		enum	

	?: NO, YES				
IdleInterval	idle interval between two consecutive radio frames	0.0	sec	real	[0,1.0ms]
PDCCH_Factor	scale factor of PDCCH	1.0		real	(0.0,∞)
PCFICH_Factor	scale factor of PCFICH	1.0		real	( 0.0, +∞ )
PHICH_Factor	scale factor of PHICH	1.0		real	( 0.0, +∞ )
PSCH_Factor	scale factor of P-SCH	1.077632		real	(0.0,∞)
SSCH_Factor	scale factor of S-SCH	1.077632		real	(0.0,∞)
BCH_Factor	scale factor of BCH	1.0		real	(0.0,∞)
RS_Factor	scale factor of reference symbol	1.0		real	(0.0,∞)

**Πίνακας 12: Παράμετροι Downlink receiver with RF de-modulator**

**LTE channel decoder:** Το στοιχείο αυτό εκτελεί αποκωδικοποίηση στο κανάλι downlink και uplink.

Name	Description	Default	Type	Range
LinkDir	link direction: Downlink, Uplink	Uplink	enum	
TransBlockSize	Transport block size	{ 6016, 6016, 6016, 6016, 6016, 6016, 6016, 6016 }	int array	[1,max transport block size]†
CRC_Length	Number of parity bits: CRC_24A, CRC_24B, CRC_16	CRC_24A	enum	
CodewordLength	Code Word Length	{ 18000, 18000, 18000, 18000, 18000, 18000 }	int array	[1, +∞]
RV_Idx	Redundancy Version Index	0	int	[0, 3]
NIR	Redundancy Version Index	9600	int	[1, +∞]

CellID_Sector	the index of cell identity within the physical-layer cell-identity group	0	int	[0,2]
CellID_Group	the index of cell identity group	0	int	[0,167]
n_RNTI	Radio network temporary identifier	0	int	[0, 2e16-1]
q	Code word number	0	int	[0, 1]
MappingType	modulation type: QPSK, QAM16, QAM64	QPSK	enum	
DemapperType	demodulator type: Hard, Soft	Hard	enum	
NumOfLayers	Number of layers	2	int	[1,4]

**Πίνακας 13: Παράμετροι LTE channel decoder**

**Delay:** Το στοιχείο αυτό εισάγει καθυστέρηση για N δείγματα.

Name	Description	Default	Type	Range
N	N	1	int	[0, ∞)

**Πίνακας 14: Παράμετροι Delay**

**BER\_Measurement:** Το στοιχείο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση του BER (bit error rate) και FER (frame error rate) ενός συστήματος.

Name	Description	Default	Type	Range
Plot	Plot data when set to 'Rectangular' and Simulation Setup set to 'Open Data Display when simulation completes': None, Rectangular	None	enum	
Start	Data collection start index	DefaultNumericStart	int	[0, ∞)
Stop	Data collection stop	DefaultNumericStop	int	(Start,

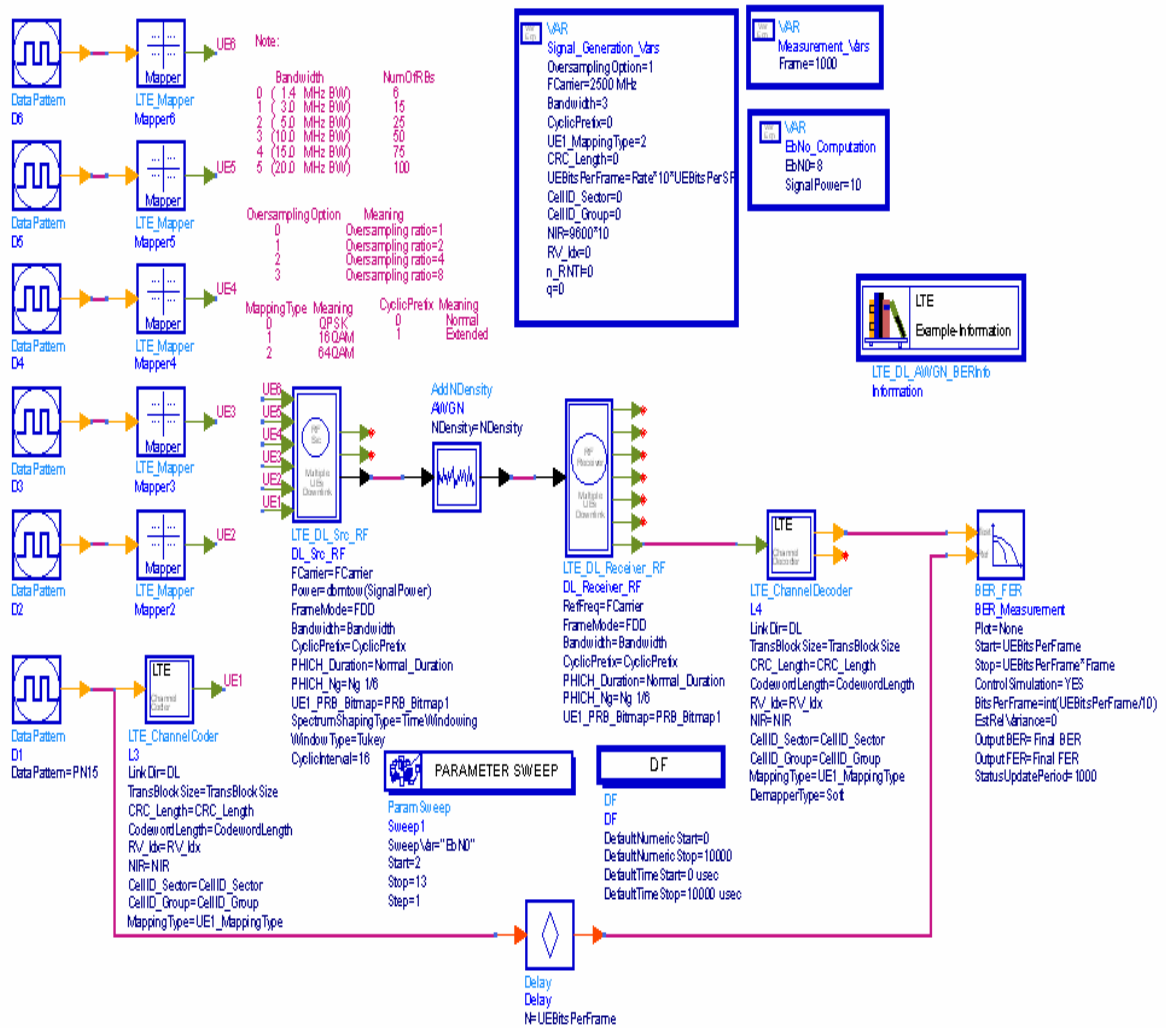


	index when EstRelVariance is not met			$\infty$ )
ControlSimulation	Let sink control how long the simulation will run? NO, YES	YES	enum	
BitsPerFrame	Bits per frame	100	int	[1, $\infty$ )
EstRelVariance	BER estimation relative variance	0.01	real	[0, 1)
OutputBER	BER output: BER vs index, BER vs index every 10 bits, BER vs index every 100 bits, BER vs index every 1000 bits, BER vs index every BitsPerFrame bits, Final BER	Final BER	enum	
OutputFER	FER output: FER vs frame, FER vs frame every 10 frames, Final FER, No FER	Final FER	enum	
StatusUpdatePeriod	Status update period in number of bits	1000	int	[1, $\infty$ )

**Πίνακας 15: Παράμετροι BER\_Measurement**

**DF:** Το στοιχείο DF (ροή δεδομένων) είναι ο ελεγκτής και απαιτείται για όλες τις προσομοιώσεις.

**VAR:** Από το στοιχείο αυτό μπορούμε να παραμετροποιούμε τις μεταβλητές μας.

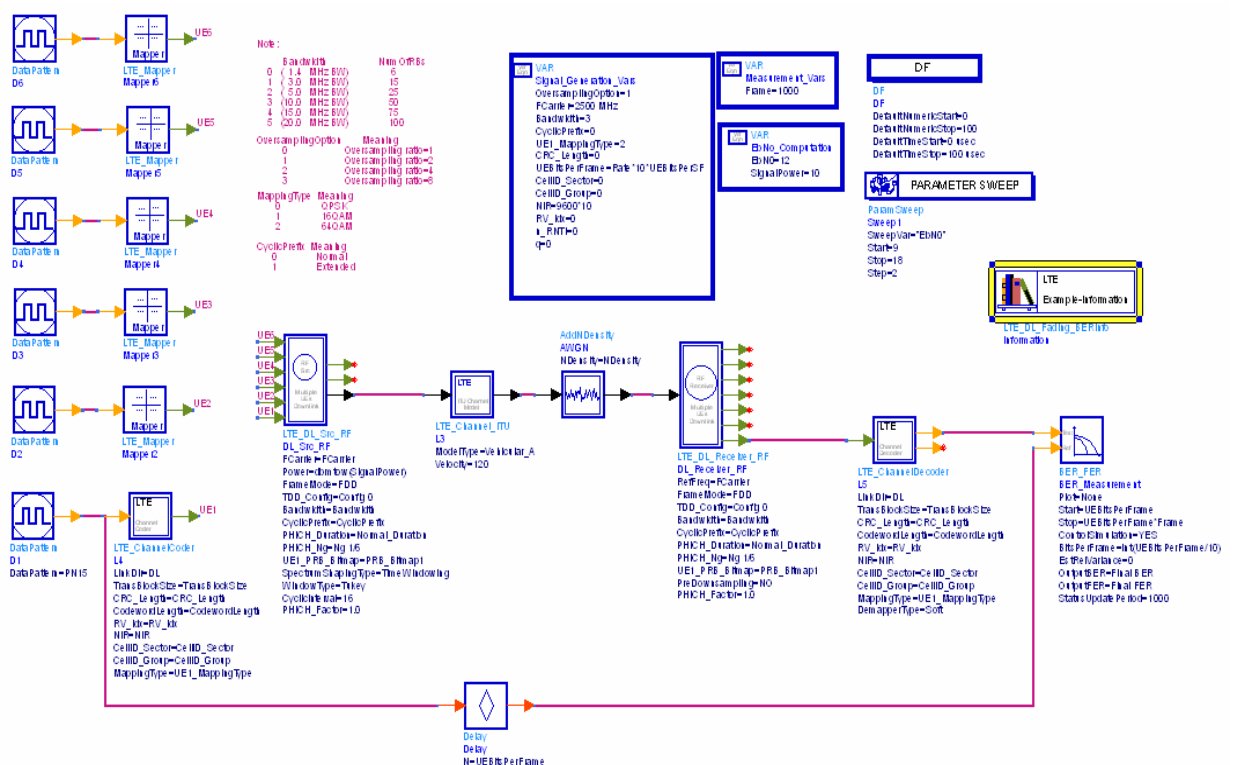


Εικόνα 37: Τελική μορφή σεναρίου

## 4.4.2 Fading

Σε ασύρματες επικοινωνίες, το fading είναι η απόκλιση της εξασθένησης που επηρεάζει ένα σήμα σε ένα μέσο διάδοσης. Μπορεί να μεταβάλλεται με το χρόνο, τη γεωγραφική θέση ή ραδιοφωνική συχνότητα και συχνά μοντελοποιείται ως μια τυχαία διαδικασία. Στις ασύρματες επικοινωνίες μπορεί να οφείλεται είτε σε διάδοση πολλαπλών διαδρομών, είτε λόγω σκίασης από εμπόδια που επηρεάζουν την διάδοση κυμάτων.

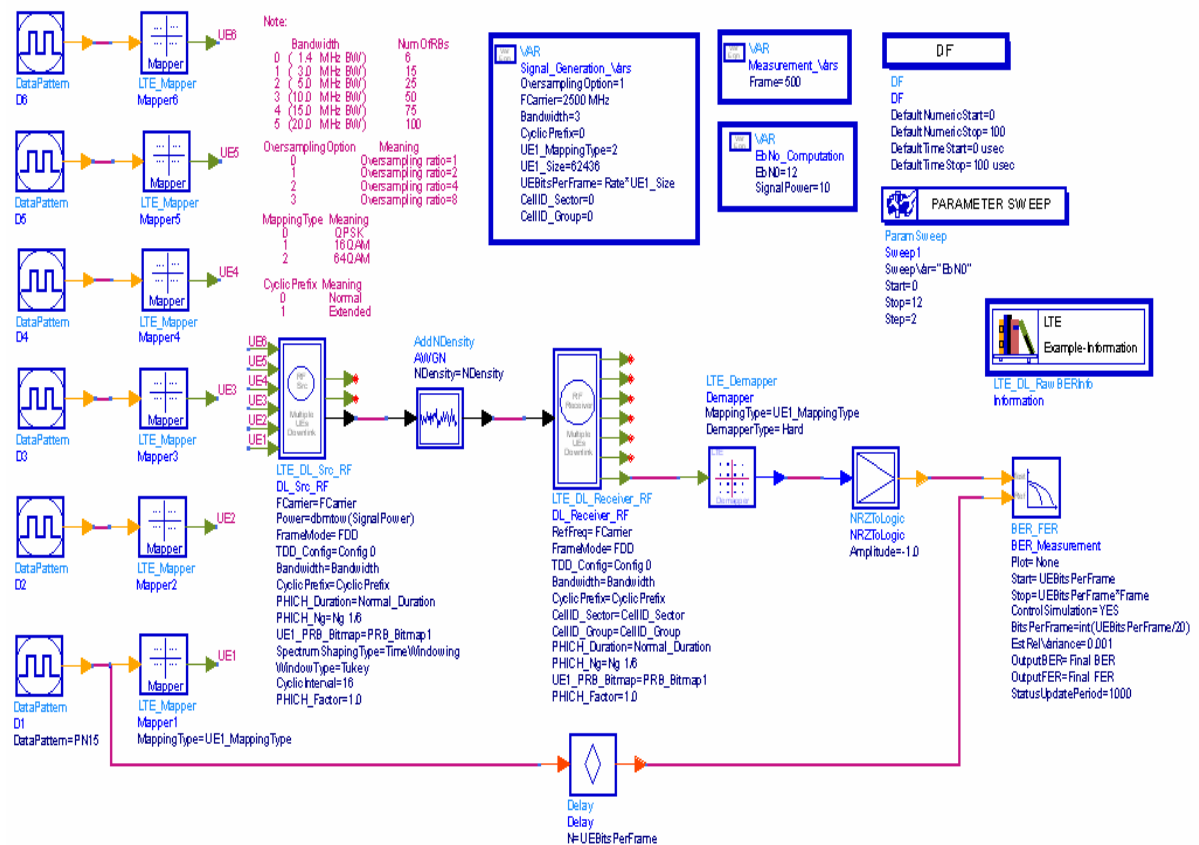
Στο παράδειγμα αυτό θα κάνουμε μετρήσεις BER στο κανάλι downlink με κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση με fading.



Εικόνα 38: Τελική μορφή σεναρίου

### 4.4.3 Raw

Στο παράδειγμα αυτό θα κάνουμε μετρήσεις στο κανάλι downlink με λευκό θόρυβο, χωρίς κωδικοποίηση καναλιού.



Εικόνα 39: Τελική μορφή σεναρίου

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

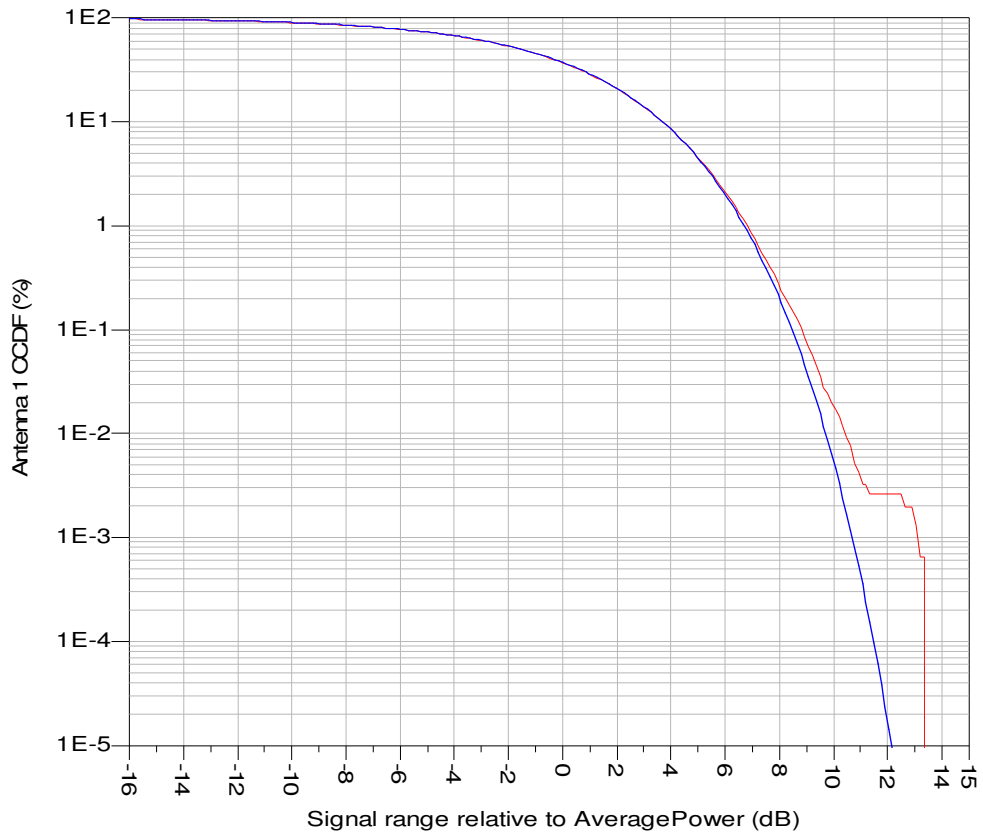
### **ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ**

#### **5.1 Εισαγωγή**

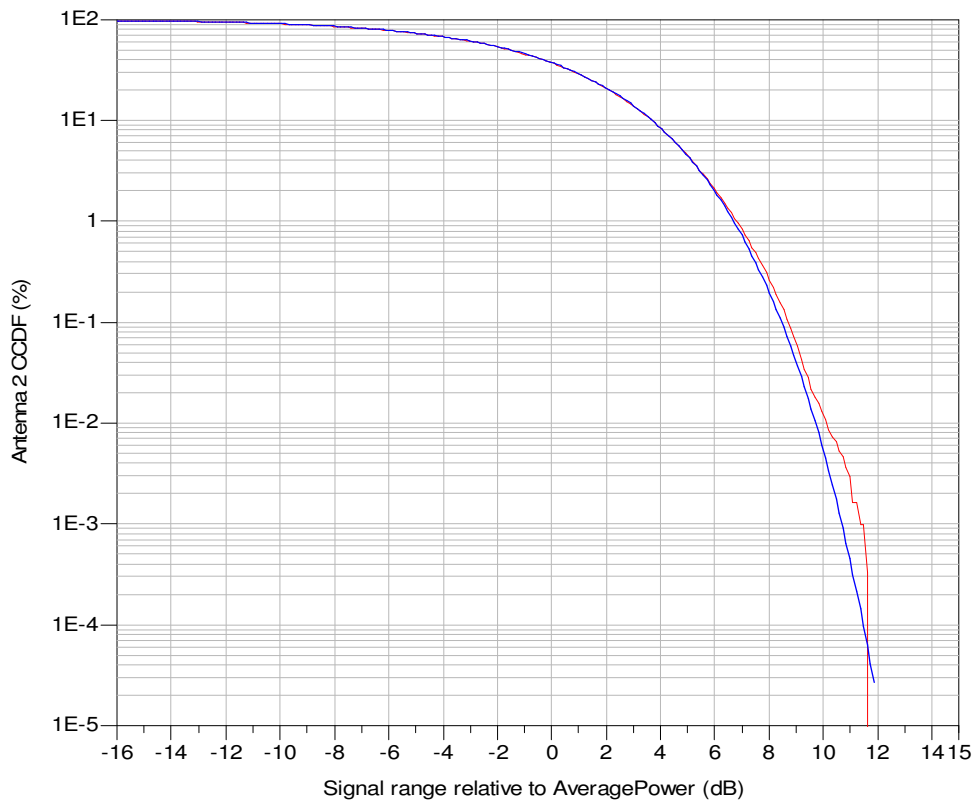
Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται η απόδοση των κεραιών MIMO με δύο και με τέσσερις κεραίες αντίστοιχα, καθώς και η Downlink ζεύξη στην πλευρά του δέκτη. Συγκεκριμένα θα μελετήσουμε την περίπτωση της συμπληρωματικής αθροιστικής συνάρτησης κατανομής (CCDF), το φάσμα εκπομπής και το μήκος κύματος των κεραιών. Επίσης, θα μελετήσουμε την περίπτωση που το κανάλι έχει υποστεί το λευκό γκαουσιανό θόρυβο και το φαινόμενο fading με κωδικοποίηση και χωρίς κωδικοποίηση καναλιού.

#### **5.2 MIMO 2Ant1 Transmitter**

Στα παρακάτω γραφήματα που ακολουθούν, η μπλε καμπύλη παριστάνει την διακύμανση του σηματος CCDF και η κόκκινη την καμπύλη αναφοράς CCDF με λευκό θόρυβο. Παρατηρούμε λοιπόν, ότι υπάρχει διαφορά στα μονοπάτια που οδηγούν στην Ant1 και στην Ant2 και αυτό οφείλεται στη διαφορά ισχύος των δυο κεραιών που έχουμε ορίσει στο εικονίδιο VAR της εικόνας 28 για την προσομοίωση.

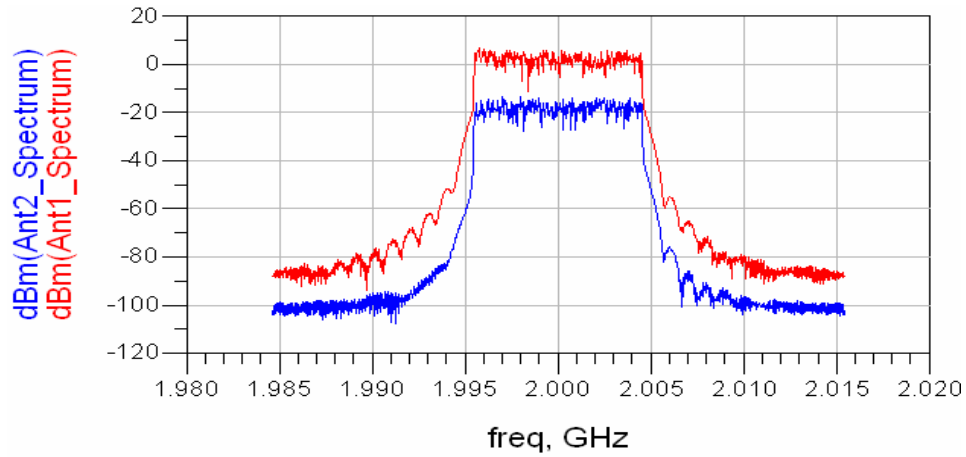


**Γράφημα 1: Σήμα CCDF Ant1**



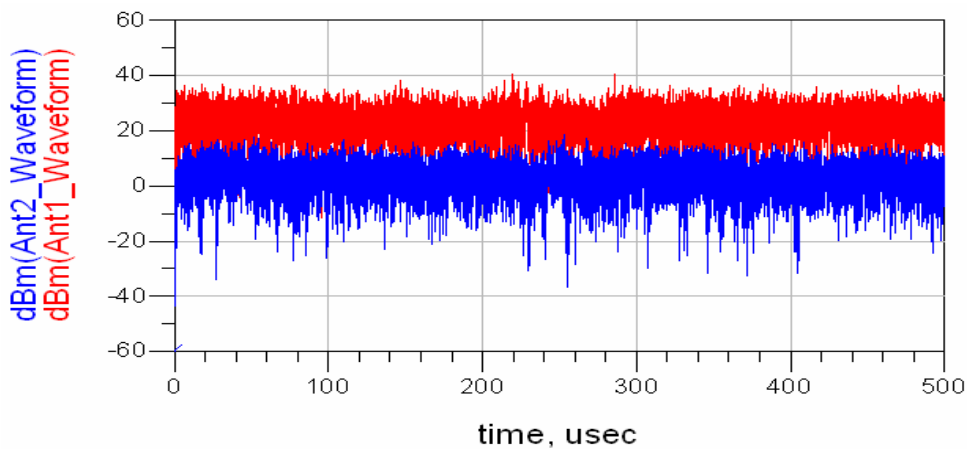
**Γράφημα 2: Σήμα CCDF Ant2**

Στο παρακάτω γράφημα φαίνεται το φάσμα εκπομπής των δύο κεραιών. Η διαφορά που παρατηρούμε μεταξύ των δύο σημάτων οφείλεται στο γεγονός ότι στις ρυθμίσεις έχει οριστεί διαφορετική ισχύ εκπομπής.



**Γράφημα 3: Φάσμα εκπομπής Ant1 και Ant2**

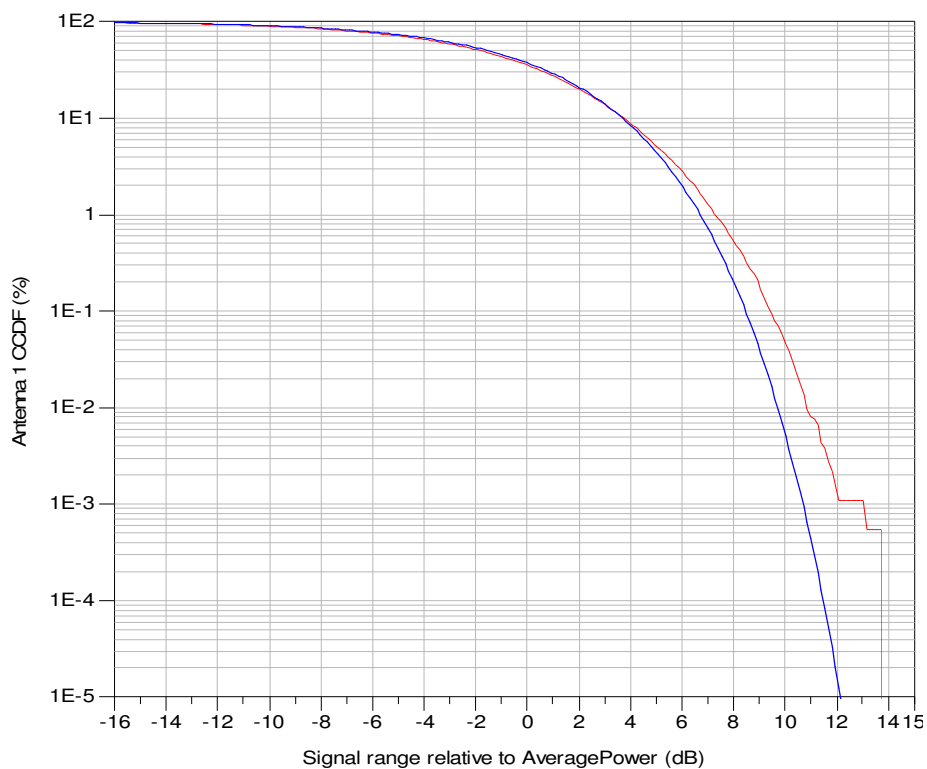
Στο παρακάτω γράφημα φαίνονται η κυματομορφές των δύο κεραιών.



**Γράφημα 4: Κυματομορφές Ant1 και Ant2**

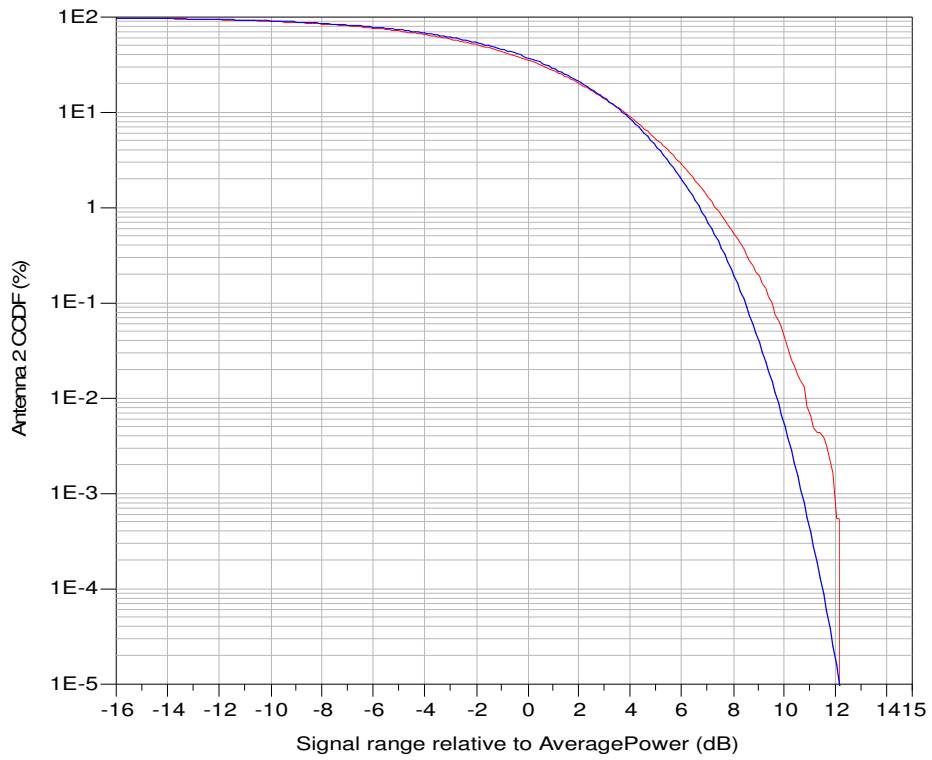
### 5.3 MIMO 4Ant Transmitter

Στα παρακάτω γραφήματα που ακολουθούν, η μπλε καμπύλη παριστάνει την διακύμανση του σήματος CCDF και η κόκκινη την καμπύλη αναφοράς CCDF με λευκό θόρυβο. Παρατηρούμε λοιπόν, ότι στα γραφήματα της Ant1 και της Ant3 δεν υπάρχουν διαφορές. Αυτό οφείλεται στο ότι έχουμε ορίσει να εκπέμπουν την ίδια ισχύ. Αντίστοιχα το ίδιο συμβαίνει με τις Ant2 και Ant4.

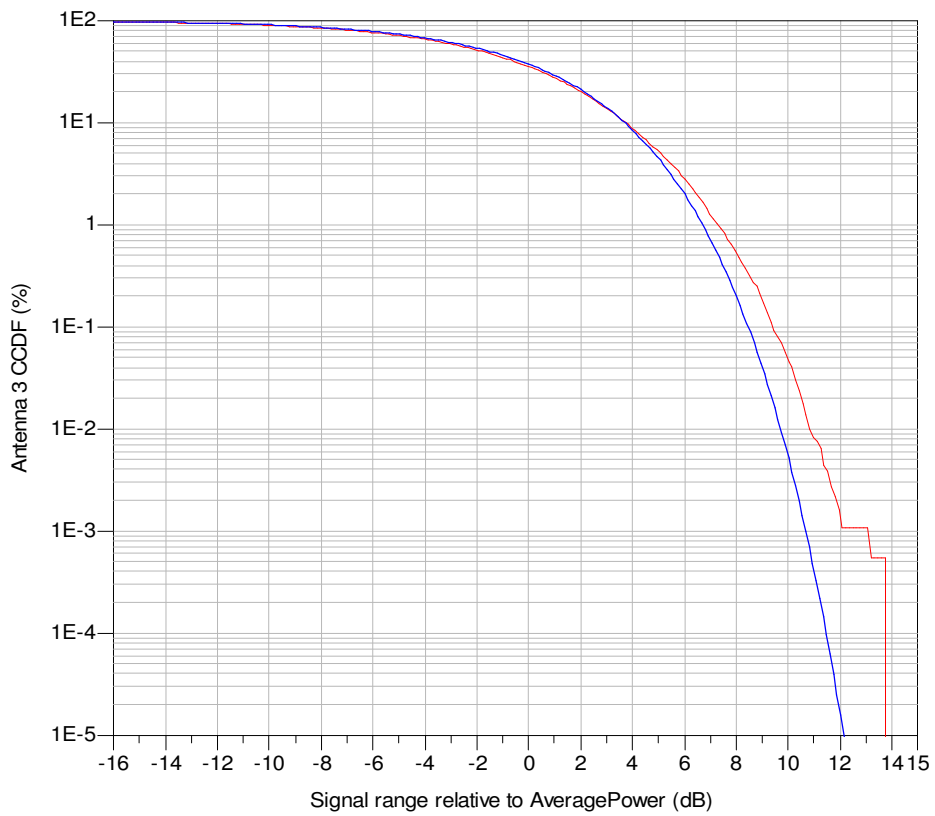


**Γράφημα 5: Σήμα CCDF Ant1**

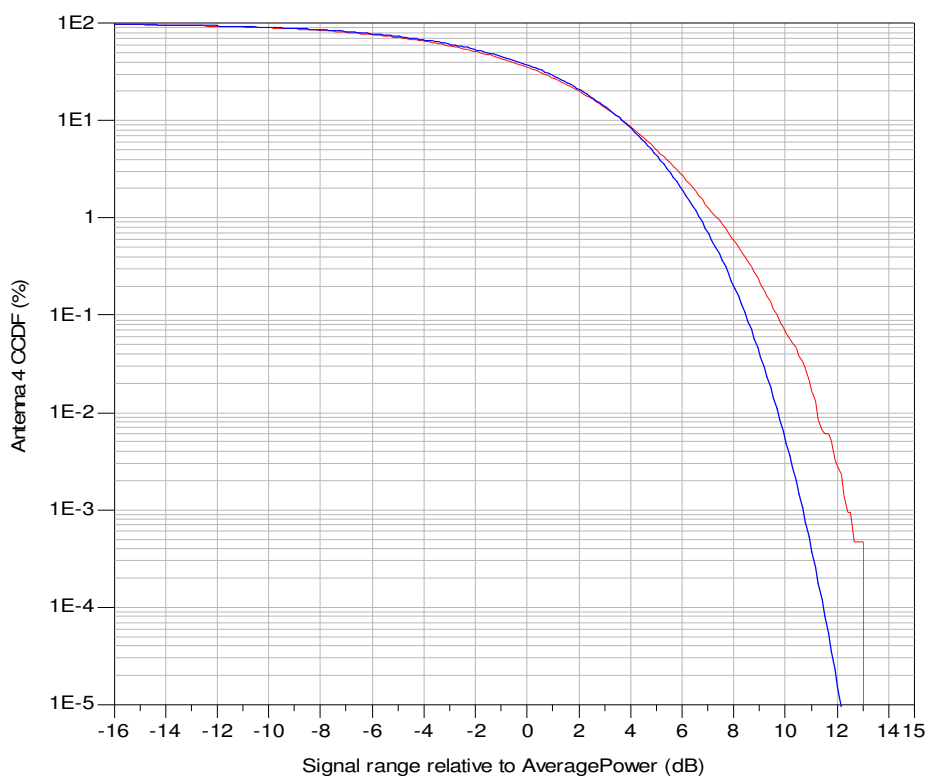




**Γράφημα 6: Σήμα CCDF Ant2**

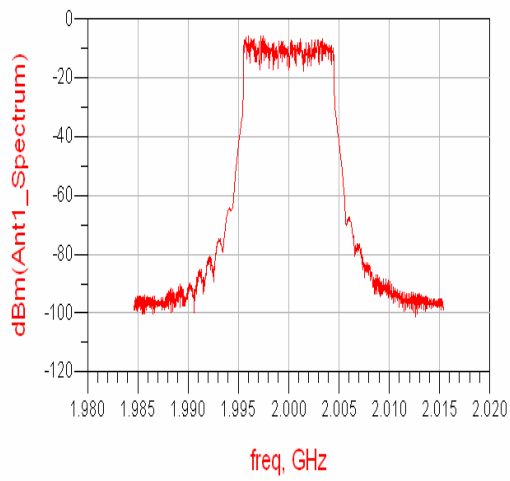


**Γράφημα 7: Σήμα CCDF Ant3**

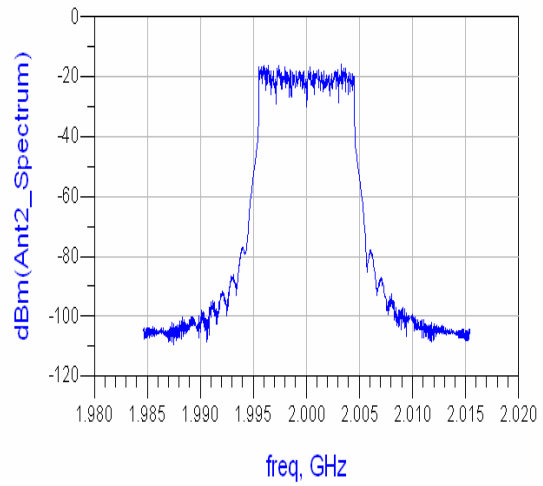


**Γράφημα 8: Σήμα CCDF Ant4**

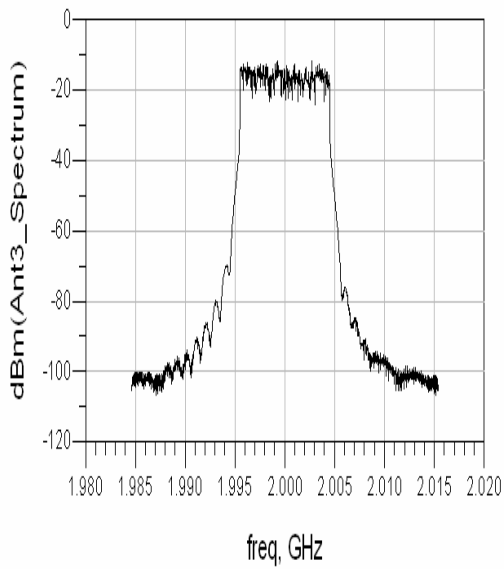
Στα παρακάτω γραφήματα φαίνεται το φάσμα εκπομπής των τεσσάρων κεραιών. Η διαφορά που παρατηρούμε μεταξύ των τεσσάρων σημάτων οφείλεται στο γεγονός ότι στις ρυθμίσεις έχει οριστεί διαφορετική ισχύ εκπομπής. Συγκεκριμένα έχουν ίδια ισχύ εκπομπής η Ant1 με την Ant3 και η Ant2 με την Ant4.



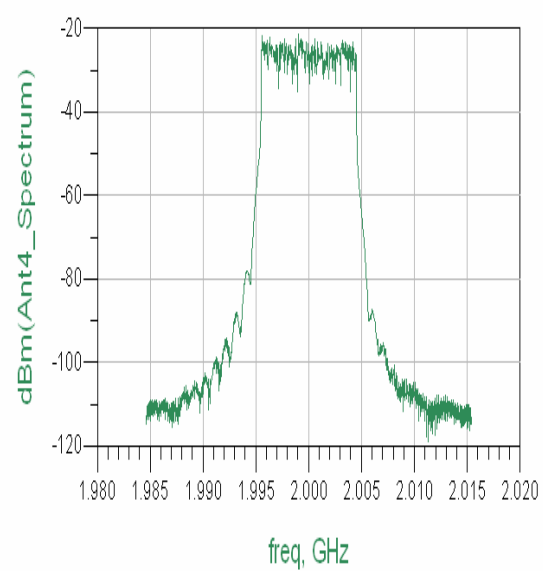
**Γράφημα 9: Φάσμα εκπομπής Ant1**



**Γράφημα 10: Φάσμα εκπομπής Ant2**

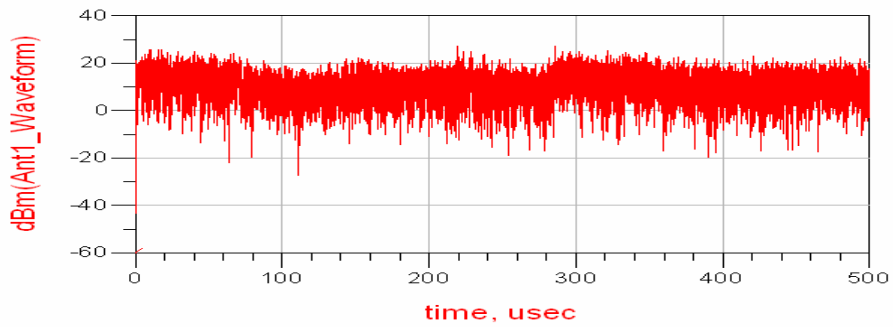


**Γράφημα 11: Φάσμα εκπομπής Ant3**

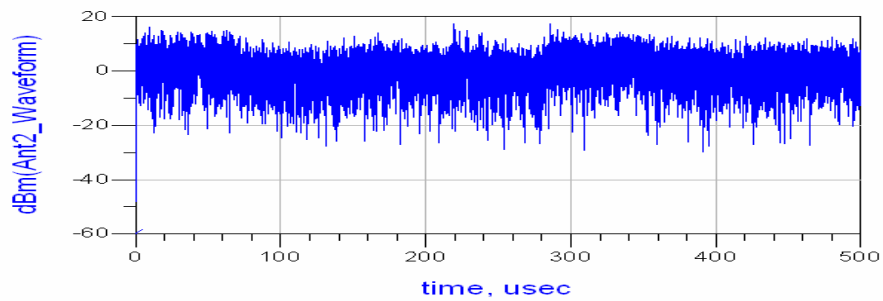


**Γράφημα 12: Φάσμα εκπομπής Ant4**

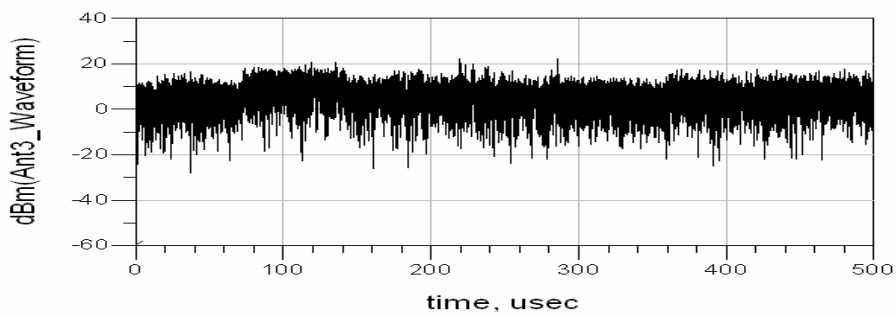
Στο παρακάτω γράφημα φαίνονται η κυματομορφές των τεσσάρων κεραιών.



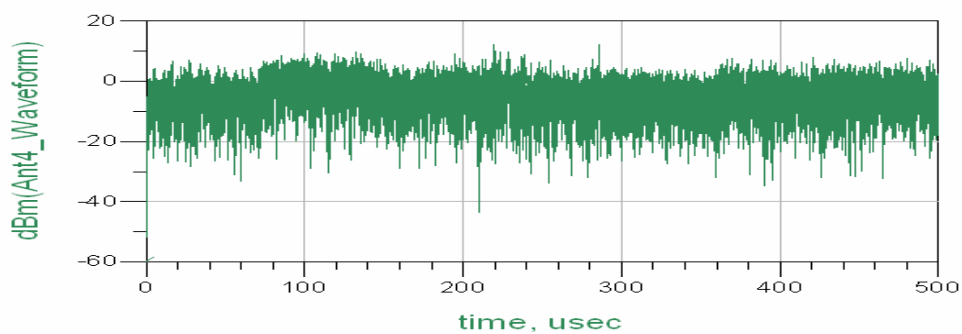
**Γράφημα 13: Κυματομορφή Ant1**



**Γράφημα 14: Κυματομορφή Ant2**



**Γράφημα 15: Κυματομορφή Ant3**

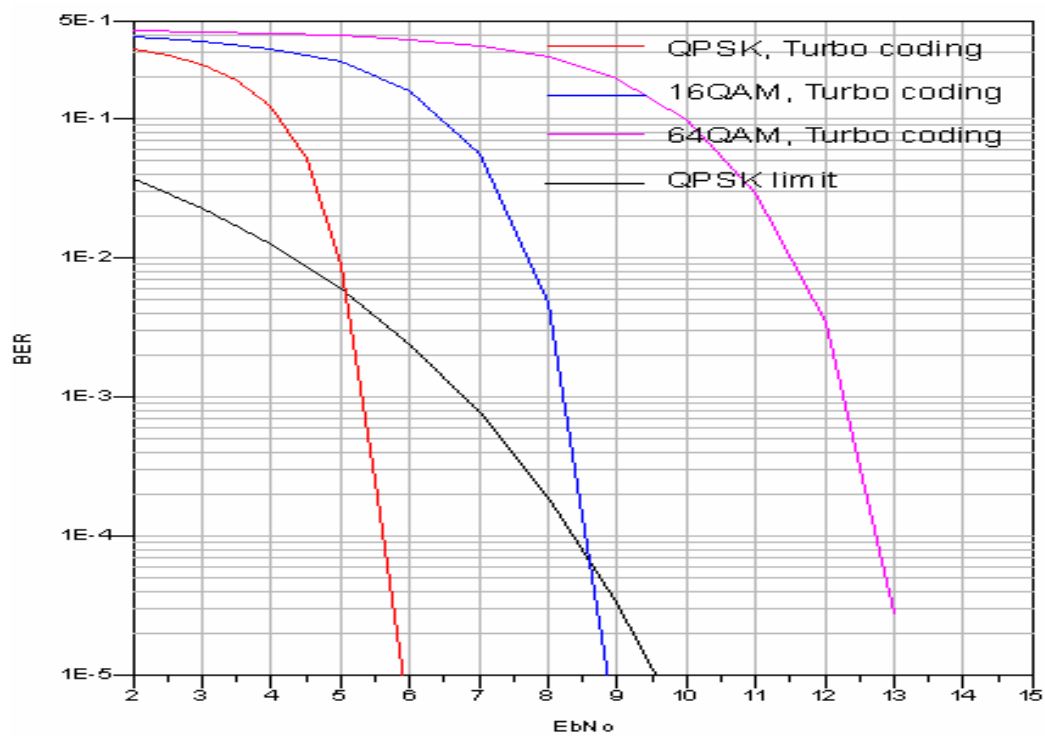


**Γράφημα 16: Κυματομορφή Ant4**

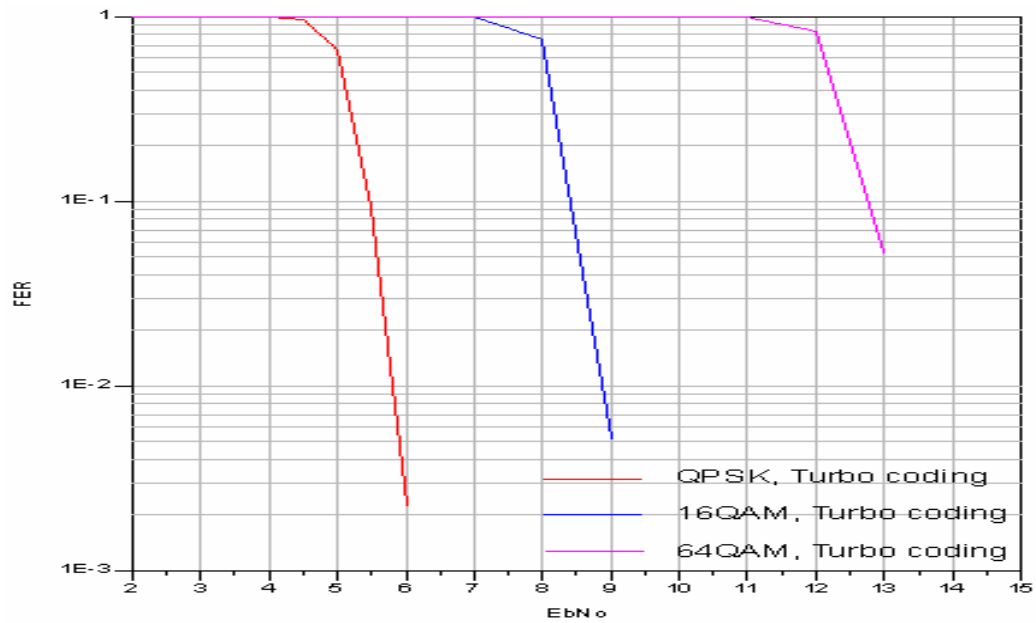
## 5.4 MIMO Downlink Receiver

### Λευκός θόρυβος (AWGN)

Στα παρακάτω γραφήματα φαίνονται οι μετρήσεις που αφορούν την κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση του καναλιού Downlink με λευκό θόρυβο, για QPSK, 16QAM και 64QAM.



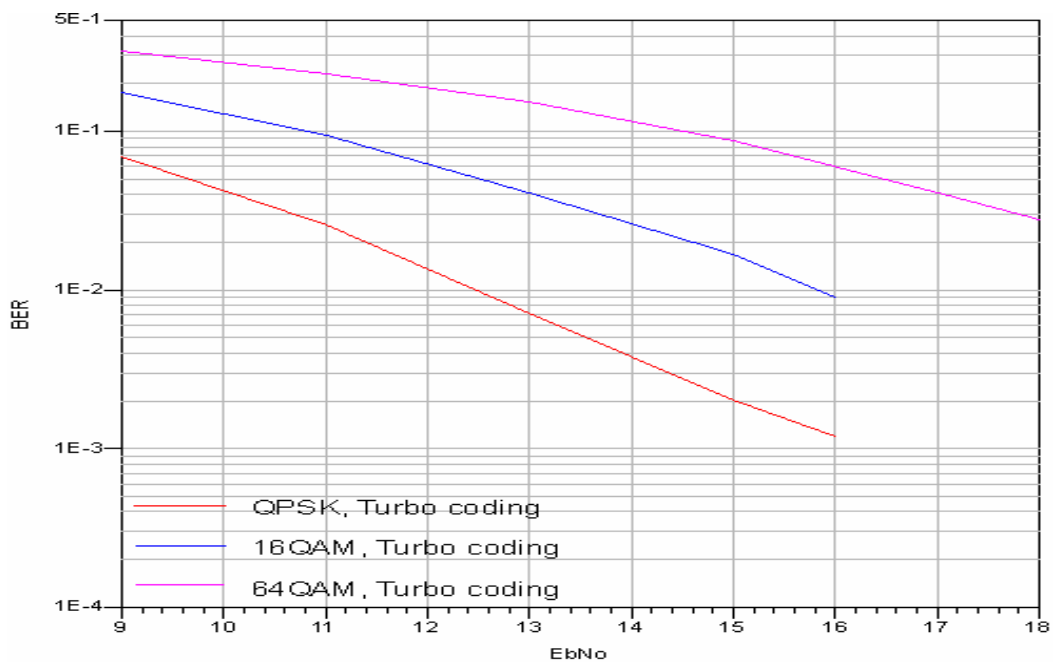
Γράφημα 17: BER σε κανάλι με AWGN



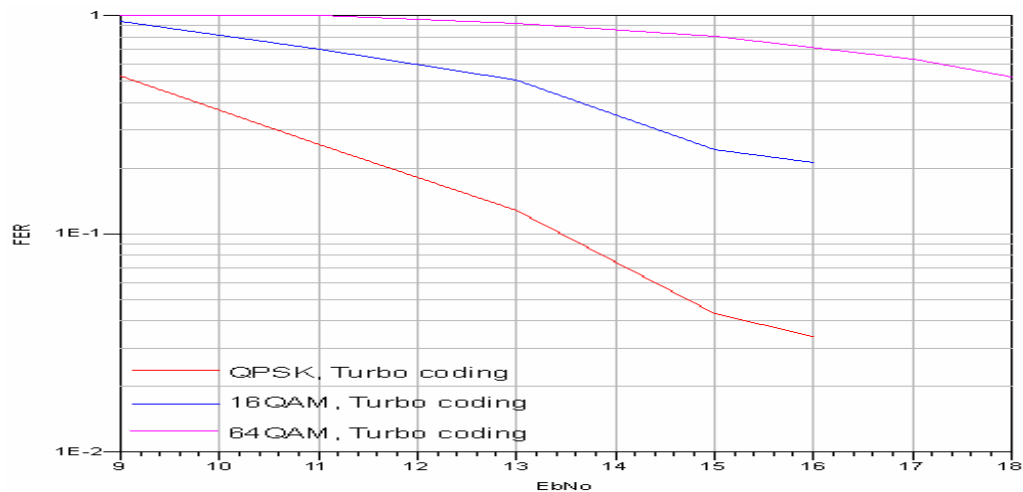
Γράφημα 18: BLER σε κανάλι με AWGN

## FADING

Στα παρακάτω γραφήματα παρατηρούμε ότι το κανάλι που έχει υποστεί fading έχει υψηλότερο FER σε σύγκριση με το κανάλι που έχει υποστεί θόρυβο.



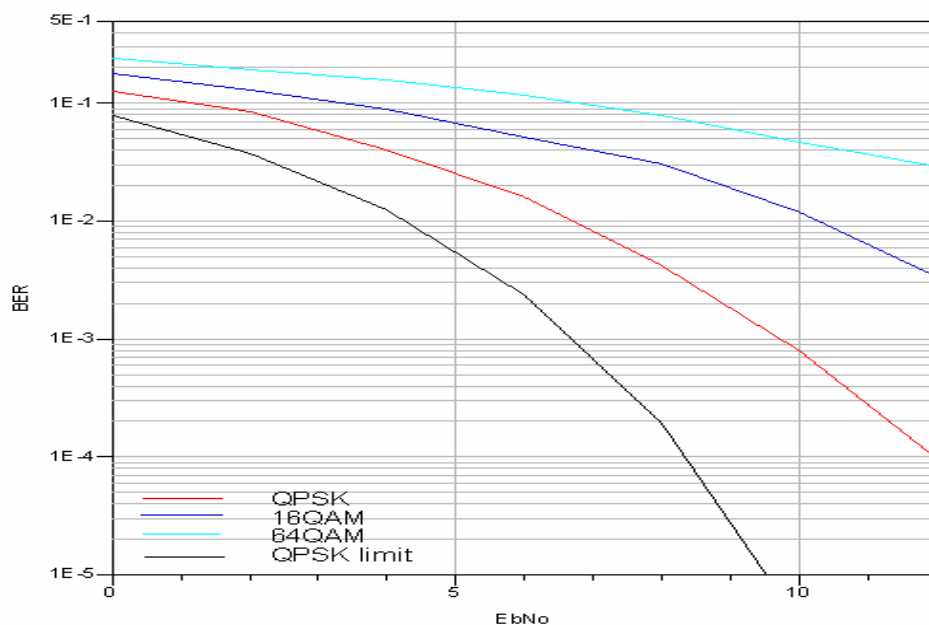
Γράφημα 19: FER σε κανάλι με fading



**Γράφημα 20: FER σε κανάλι με fading**

## RAW BER

Σε αυτό το γράφημα φαίνεται η downlink ζεύξη PDSCH με λευκό θόρυβο χωρίς κωδικοποίηση καναλιού. Πριν τεθεί σε εφαρμογή δηλαδή η κωδικοποίηση. Παρατηρούμε λοιπόν ότι παρουσιάζονται περισσότερα σφάλματα.



**Γράφημα 21: Raw BER σε κανάλι με AWGN**

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ασύρματη επικοινωνία, στις μέρες μας, αποκτά ιδιαίτερη αξία σε μια χώρα όπως η Ελλάδα, όπου η μορφολογία του εδάφους, δεν επιτρέπει σε αρκετά γεωγραφικά διαμερίσματα την εγκατάσταση και χρήση ευζωνικών μέσων μετάδοσης όπως για παράδειγμα οι οπτικές ίνες.

Ειδικότερα ο τομέας της κινητής τηλεφωνίας είναι ένας ταχύτατα εξελισσόμενος τομέας καθώς τα νέα αυτά κινητά δίκτυα τέταρτης γενιάς, αντικαθιστούν τα υπάρχοντα κινητά δίκτυα τρίτης γενιάς και επιπλέον προσφέρουν προηγμένες υπηρεσίες στους χρήστες.

Η βελτίωση που εισάγουν τα MIMO συστήματα είναι αναμφίβολη και καθιστά ιδιαίτερα ελκυστική την αναζήτηση διατάξεων κεραιών, αλλά και τεχνικών υλοποίησης αυτών κατάλληλων για λειτουργία σε αυτά. Τέλος, η ολοένα αυξανόμενη απαίτηση για συστήματα επικοινωνιών, που εξασφαλίζουν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων σε περιβάλλον που εισάγει φαινόμενα multipath, όπως είναι οι εσωτερικοί χώροι κτιρίων ή το αστικό περιβάλλον, αποτελεί ακόμη έναν λόγο ενδιαφέροντος προς τις τεχνικές βελτίωσης των διατάξεων MIMO.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer, Jim Zyren
- [2] Μελέτη μονοπωλιακών δικαιωμάτων σε τεχνολογίες 4<sup>ης</sup> γενιάς, Ελένη Π. Τσανούλα
- [3] Η Μετάβαση από τις 3G στις 4G Ασύρματες Επικοινωνίες, Μπιτζίδης Ν. Γεώργιος
- [4] Έξυπνες κεραιές σε συνδυασμό με OFDM, Χρήστος Βασιλείου Μπέλλος
- [5] Μελέτη και σχεδίαση compact κεραιών για συστήματα επικοινωνιών πολλαπλών εισόδων – πολλαπλών εξόδων (MIMO), Σμπώκος Γιώργος
- [6] <http://www.quantenna.com/4x4-mimo.html>
- [7] <http://www.home.agilent.com/agilent/home.jsp?cc=US&lc=eng>